



TUGAS AKHIR – TM 091585

**ANALISA PERILAKU ARAH KENDARAAN
DENGAN VARIASI POSISI TITIK BERAT,
SUDUT BELOK DAN KECEPATAN PADA
MOBIL FORMULA *SAPUANGIN SPEED 3***

TJAHYADI RIZKY PRADANA
NRP 2110100104

Dosen Pembimbing
Ir. I NYOMAN SUTANTRA, M.Sc, Ph.D

JURUSAN TEKNIK MESIN
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2016



FINAL PROJECT – TM 091585

**BEHAVIOR ANALYSIS OF THE DIRECTION
OF VEHICLE WITH VARIATION OF CENTER
OF GRAVITY POSITION, TURNING ANGLE
AND SPEED IN FORMULA CAR SAPUANGIN
SPEED 3**

TJAHYADI RIZKY PRADANA
NRP 2110100104

Advisor
Ir. I NYOMAN SUTANTRA, M.Sc, Ph.D

Mechanical Engineering Department
Faculty Industrial Engineering
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2016

**ANALISA PERILAKU ARAH KENDARAAN DENGAN
VARIASI POSISI TITIK BERAT, SUDUT BELOK DAN
KECEPATAN FORMULA SAPU ANGIN *SPEED 3***





TUGAS AKHIR

**Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada
Bidang Studi Desain
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Mesin
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

Oleh:

**TJAHYADI RIZKY PRADANA
NRP. 2110 100 104**

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Prof. Ir. I NYOMAN SUTANTRA,
MSc.PhD
(NIP. 195106051978031002)  (Pembimbing)
2. Ir. WITANTYO, M.Eng.Sc
(NIP. 196303141988031002)  (Penguji I)
3. ALIEF WIKARTA, ST, MSc.Eng, PhD.
(NIP. 198202102006041002)  (Penguji II)
4. Dr. Eng. SUTIKNO, ST, MT
(NIP. 197407032000031001)  (Penguji III)



**SURABAYA
Juli, 2016**

**ANALISA PERILAKU ARAH KENDARAAN
DENGAN VARIASI POSISI TITIK BERAT, SUDUT
BELOK DAN KECEPATAN PADA MOBIL
FORMULA SAPUANGIN *SPEED 3***

Nama Mahasiswa : TJAHYADI RIZKY PRADANA
NRP : 2110100104
Jurusan : Teknik Mesin FTI-ITS
**Dosen Pembimbing : Prof. Ir. I NYOMAN SUTANTRA,
MSc.PhD**

Abstrak

Pada tahun 2015, ITS Team Sapuangen untuk ketiga kalinya mengikuti lomba Student Formula Japan yang diadakan oleh Japan Society of Automotive Enginee (JSAE). Dalam lomba ini setiap tim diharuskan untuk mengikuti dynamic event dalam perlombaan tersebut, antara lain acceleration, skid-pad, autocross dan endurance. Target Team Sapuangen yaitu menjuarai skid-pad, karena mobil Sapuangen Speed 4 memiliki mesin dengan kapasitas yang kecil dibandingkan dengan tim-tim dari negara lain. Namun kenyataannya ITS Team Sapuangen hanya mampu menyelesaikan skid-pad dengan waktu 5,73 detik. Pada perlombaan ini, TU Graz adalah tim yang berhasil menjuarai perlombaan skid-pad ini dengan waktu 5,03 detik. Kendala yang dialami Sapuangen Speed 3 adalah sulit dikendalikan dan mengalami understeer maupun oversteer. Dengan kondisi kendaraan yang sulit diprediksi seperti ini, pengemudi harus selalu melakukan koreksi, sehingga sulit untuk mendapatkan waktu capaian yang baik. Permasalahan ini akan dicoba dianalisa penyebabnya agar pada tahun

berikutnya mobil Sapuangan Speed 4 bisa tampil dengan baik.

Dalam tugas akhir ini, dilakukan analisa tentang perilaku arah kendaraan pada mobil formula Sapuangan Speed 3 dengan variasi posisi titik berat dan kecepatan di lintasan skid pad. Pada awalnya, menentukan posisi titik berat untuk dianalisa, kemudian menghitung gaya-gaya yang terjadi pada ban yang mampu mempengaruhi perilaku arah pada kendaraan, lalu divariasikan dengan kecepatan tertentu hingga mampu memperoleh waktu yang optimal. Sedangkan pada steering system yaitu meneliti sudut belok agar mencapai kondisi ideal (Ackermann).

Dari penelitian yang telah dilakukan, diperoleh posisi titik berat yang optimal yaitu tepat ditengah (50% : 50%) dengan Kus 0,0678 pada radius 8,982 m. Kemudian dari analisa skid kendaraan mengalami understeer pada yaw rate sebesar 2,2677. Dari analisa steering kendaraan bahwa sistem steering mobil Sapuangan Speed 3 tidak Ackermann, namun sistem steering ini sudah mendekati Ackermann.

Kata kunci : sapuangan speed 3, analisa skid, analisa slip, analisa guling, kecepatan maksimum, oversteer, understeer, waktu optimum, skid pad.

BEHAVIOR ANALYSIS OF THE DIRECTION OF VEHICLE WITH VARIATION OF CENTER OF GRAVITY POSITION, TURNING ANGLE AND SPEED IN FORMULA CAR SAPUANGIN SPEED 3

Student Name : TJAHYADI RIZKY PRADANA
Student ID : 2110100104
Department : Teknik Mesin FTI-ITS
Academic Supervisor: Prof. Ir. I NYOMAN SUTANTRA, MSc.PhD

Abstract

In 2015, ITS Team Sapuanging for the third time following the Japan Formula Student competition held by the Japan Society of Automotive Engineer (JSAE). In this competition each team is required to follow the dynamic events in the race, including acceleration, skid-pad, autocross and endurance. Target Team Sapuanging which won the skid-pad, because the car Sapuanging Speed 4 have a engine with a small capacity compared with teams from other countries.. But in fact ITS Sapuanging Team was only able to complete skid-pad with time 5.73 seconds. In this race, TU Graz is a team that managed to win the race this pad with skid-5.03 time seconds. The constraints experienced by Sapuanging Speed 3 is difficult to control and experience understeer or oversteer. With the condition of the vehicle is difficult to predict as it is, the driver must always perform a correction, so it is difficult to get a good close time. This problem will be trying analyzed the cause so that the following year the car Sapuanging Speed 4 can perform well.

In this final task, carried out the analysis of behaviour of the vehicle in the direction of formula Sapuanging 3 Speed

with a variation of the position of the point of weight and speed on the skid-pad. At first, determine the position of the point of weight to be analyzed, and then calculating the forces that occur on the tires that are able to affect the behavior of the direction of the vehicle, and then varied with the given speed until able to obtain optimal time. While in the steering system that examines turn the corner in order to achieve ideal conditions (Ackermann).

From the research that has been done, obtained optimal position of center of gravity is right in the middle (50% to 50%) with a radius K_{us} 0,0678 at 8,982 m. Then from the analysis of the vehicle skid experiencing understeer on the yaw rate of 2,2677. From the analysis that the vehicle steering system of a car steering Sapuangen Speed 3 Ackermann did not, but the system is already approaching Ackermann steering.

Keywords : sapuangen speed 3, analysis skid, slip analysis, analysis bolsters, maximum speed, oversteer, understeer, the optimum time, skid pad.

DAFTAR ISI

LEMBAR JUDUL	
LEMBAR PENGESAHAN	
ABSTRAK	vii
KATA PENGANTAR.....	xi
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR GAMBAR	xvii
DAFTAR TABEL	xix
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan Penelitian	4
1.4 Batasan Masalah	4
1.5 Manfaat Penelitian	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Student Formula Japan 2015.....	7
2.1.1 Tentang Student Formula Japan 2015.....	7
2.2 Dynamic Test Student Formula Japan 2015	9
2.2.1 Skid pad Event	9
2.2.1.1 Tujuan	9
2.2.1.2 Teknis Perlombaan.....	9
2.2.1.3 Penilaian.....	10
2.2.2 Acceleration Event.....	10
2.2.2.1 Tujuan	10
2.2.2.2 Teknis Perlombaan.....	10
2.2.2.3 Penilaian.....	11
2.2.3 Autocross Event	11
2.2.3.1 Tujuan	11
2.2.3.2 Teknis Perlombaan.....	11
2.2.3.3 Penilaian.....	11
2.2.4 Endurance Test	12
2.2.4.1 Tujuan	12
2.2.4.2 Teknis Perlombaan.....	12
2.2.4.3 Penilaian.....	13

2.2.5	Fuel Efficiency.....	13
2.2	Perancangan Mobil Balap.....	13
2.3	Dasar Teori Analisa Stabilitas	14
2.3.1	Center Of Gravity	14
2.3.2	Perilaku Belok Kendaraan	15
2.3.2.1	Perilaku Kendaraan Belok Kondisi Ideal / Ackerman.....	15
2.3.2.2	Perilaku Kendaraan Belok Kondisi Nyata	17
2.3.3	Perumusan gaya-gaya dari Kendaraan Belok	20
2.3.3.1	Jalan Datar	20
2.3.4	Analisa Skid.....	27
2.3.4.1	Model Sepeda	27
2.3.4.2	Analisa Roda Depan Skid	28
2.3.4.3	Analisa Roda Belakang Skid	28
2.3.5	Analisa Guling	29
2.3.5.1	Analisa Roda Depan Guling	30
2.3.5.2	Analisa Roda Belakang Guling.....	30
2.3.6	Perumusan Sudut Slip.....	31
2.3.6.1	Faktor-Faktor yang Berpengaruh Terhadap Sudut Slip.....	31
2.3.6.2	Gaya-Gaya pada Ban	32
2.3.7	Understeer index dan kecepatan karakteristik	33
2.3.8	Stabilitas Kendaraan Belok.....	34
2.4	Teori Steering System.....	35
2.4.1	Ackerman Steering Geometry.....	35
BAB III	METODOLOGI	39
3.1	Prosedur Penelitian	39
3.2	Flowchart	40
3.2.1	Kestabilan Arah pada lintasan melingkar dengan waktu konstan	40
3.2.2	Kestabilan Arah pada kondisi Ackerman.....	42
3.3	Prosedur Perhitungan	33
BAB IV	ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN	45
4.1	Spesifikasi dan Data Kendaraan	45
4.2	Analisa Perilaku Arah Kendaraan.....	47
4.2.1	Contoh perhitungan perilaku arah kendaraan	47
4.2.1.1	Perhitungan posisi pusat titik berat.....	47

4.2.1.2	Menghitung radius Ackermann (Rack) dan sudut side slip (β).....	49
4.2.1.3	Mencari gaya centrifugal (F_c).....	50
4.2.1.4	Gaya hambat angin (F_d).....	51
4.2.1.5	Gaya gesek pada roda depan dan roda belakang (F_{gf} dan F_{gr}).....	52
4.2.1.6	Mengukur sudut guling (γ) dan momen pitching (ψ)..	52
4.2.1.7	Gaya normal (F_z)	53
4.2.1.8	Gaya lateral (F_y)	56
4.2.1.9	Gaya longitudinal (F_x).....	56
4.2.1.10	Sudut slip pada ban	57
4.2.1.11	Menghitung radius belok nyata (R_n)	62
4.2.1.12	Menghitung understeer index (Kus)	62
4.2.2	Analisa skid.....	63
4.2.2.1	Analisa skid pada roda depan	63
4.2.2.2	Analisa skid pada roda belakang.....	63
4.2.3	Analisa pengaruh posisi titik berat.....	65
4.2.4	Analisa roda terangkat	69
4.2.5	Analisa grafik.....	69
4.2.5.1	Variasi posisi titik berat	69
4.3	Analisa Perhitungan Waktu Pada Lintasan Skid-pad Student Formula Japan.....	76
4.3.1	Lintasan melingkar dengan radius konstan.....	77
4.3.2	Lintasan skid-pad	78
4.4	Analisa Pengaruh Skid.....	80
4.5	Analisa Perilaku Kinerja Ackermann Steering	82
BAB V PENUTUP		87
5.1	Kesimpulan	87
5.2	Saran	88
DAFTAR PUSTAKA.....		91
LAMPIRAN		93
BIODATA PENULIS		

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Mobil formula pada kompetisi Student Formula Japan.....	8
Gambar 2.2	Alur Kompetisi Student Formula Japan 2015	9
Gambar 2.3	Layout skid-pad event	10
Gambar 2.4	Penimbangan berat untuk mencari titik berat.....	15
Gambar 2.5	Kinematika kendaraan belok tanpa sudut slip.....	16
Gambar 2.6	Kinematika kendaraan belok dengan sudut slip	17
Gambar 2.7	Kendaraan mengalami oversteer	18
Gambar 2.8	Kendaraan mengalami understeer	19
Gambar 2.9	Gaya-gaya dan momen pada kendaraan.....	20
Gambar 2.10	Pengaruh gaya centrifugal pada momen rolling terhadap roda belakang.....	21
Gambar 2.11	Pengaruh gaya centrifugal pada momen rolling terhadap roda depan	23
Gambar 2.12	Pengaruh gaya centrifugal pada gerakan pitching bawah, diperlihatkan gambar FBD suatu kendaraan saat berbelok tampak dari atas	24
Gambar 2.13	Gaya pada arah-x dan arah-y	25
Gambar 2.14	Gaya pada arah-x dan arah-y dengan model sepeda.....	26
Gambar 2.15	Analisa skid dengan menggunakan model sepeda	27
Gambar 2.16	Analisa guling kendaraan	29
Gambar 2.17	Sudut slip akibat deformasi pada ban	31
Gambar 2.18	Gaya dan momen yang bekerja pada ban.....	33
Gambar 2.19	Ackermann steering geometry	36
Gambar 2.20	Modifikasi steering geometry.....	37
Gambar 3.1	Flowchart perhitungan kestabilan arah lintasan melingkar pada R konstan	41
Gambar 3.2	Flowchart perhitungan sudut belok pada kondisi Ackermann	42
Gambar 4.1	Desain mobil formula Sapuangan Speed 3 dengan 1 penumpang	45

Gambar 4.2	Rancangan titik berat mobil Sapuangan Speed 3 dengan variasi titik berat 50:50	48
Gambar 4.3	Ilustrasi pengaruh posisi titik berat	68
Gambar 4.4	Grafik variasi posisi titik berat antara Kus vs radius	71
Gambar 4.5	Grafik variasi titik berat antara Kus vs sudut belok.....	75
Gambar 4.6	Lintasan melingkar dengan radius konstan	77
Gambar 4.7	Lintasan skid-pad berdasarkan peraturan Student Formula Japan	79
Gambar 4.8	Ilustrasi pengaruh yaw rate pada kendaraan oversteer	81
Gambar 4.9	Grafik perbandingan pengaturan setting Sapuangan Speed 3	
Gambar 4.10	Pengaruh settingan pada mobil Sapuangan Speed 3.....	82

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Harga rata-rata hambatan rolling untuk beberapa jenis ban dan kondisi jalan	27
Tabel 4.1	Spesifikasi kendaraan mobil formula Sapuangan Speed 3	46
Tabel 4.2	Rancangan variasi posisi titik berat mobil formula Sapuangan Speed 3	47
Tabel 4.3	Kecepatan, sudut belok dan waktu tempuh pada lintasan dengan radius konstan.....	77
Tabel 4.4	Kecepatan, sudut belok dan waktu tempuh pada lintasan skid-pad.....	79
Tabel 4.5	Data pengukuran sudut belok pada kendaraan formula Sapuangan Speed 3.....	82

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Pada tahun 2015, ITS Team Sapuangen untuk ketiga kalinya mengikuti lomba *Student Formula Japan* yang diadakan oleh *Japan Society of Automotive Enginee (JSAE)*. Dalam lomba ini setiap tim diharuskan untuk mengikuti *dynamic event* dalam perlombaan tersebut, antara lain *acceleration*, *skid-pad*, *autocross* dan *endurance*. Target Team Sapuangen yaitu menjuarai *skid-pad*, karena mobil *Sapuangen Speed 4* memiliki mesin dengan kapasitas yang kecil dibandingkan dengan tim-tim dari negara lain. Namun kenyataannya ITS Team Sapuangen hanya mampu menyelesaikan *skid-pad* dengan waktu 5,73 detik. Pada perlombaan ini, *TU Graz* adalah tim yang berhasil menjuarai perlombaan *skid-pad* ini dengan waktu 5,03 detik.

Kendala yang dialami *Sapuangen Speed 3* adalah sulit dikendalikan dan mengalami *understeer* maupun *oversteer*. Dengan kondisi kendaraan yang sulit diprediksi seperti ini, pengemudi harus selalu melakukan koreksi, sehingga sulit untuk mendapatkan waktu capaian yang baik. Permasalahan ini akan dicoba dianalisa penyebabnya agar pada tahun berikutnya mobil *Sapuangen Speed 4* bisa tampil dengan baik.

Perilaku tidak stabilnya suatu kendaraan terdapat banyak faktor yang menyebabkan kendaraan mengalami *oversteer* maupun *understeer*, salah satu penyebabnya adalah posisi titik berat. Dalam merancang mobil balap, berdasarkan buku "*Motor Car Development/Fabrication Guide*", posisi titik berat berpengaruh terhadap stabilitas kendaraan. Letak posisi titik berat bila berada di depan, maka kendaraan akan mengalami *understeer*. Sebaliknya, apabila posisi titik berat kendaraan berada di belakang, kendaraan

akan mengalami *oversteer*. Pada saat kendaraan belok dengan kecepatan yang sangat rendah dan sudut belok yang tetap (*steady-state cornering*), sudut slip yang terjadi hanya pada roda depan. Ketika kendaraan berbelok dengan kecepatan tinggi, sudut slip mulai terjadi pada roda depan dan roda belakang. Maka dari itu kendaraan akan mengalami *oversteer* maupun *understeer*.

Namun merancang mobil balap berbeda dengan mobil sehari-hari. Pada mobil balap, *power to weight ratio* lebih besar dari mobil biasa. Hal ini membuat roda penggerak menjadi mudah mengalami slip saat berakselerasi. Karena itu dalam merancang mobil balap analisa *understeer* dan *oversteer* harus mempertimbangkan sudut slip pada roda belakang yang merupakan penggerak.

Pada mobil *Sapu Angin Speed 3*, letak posisi titik berat berada di depan dengan maksud meningkatkan traksi pada roda depan dan mengurangi traksi di roda belakang sehingga pengemudi bisa memanfaatkan akselerasi untuk memutar bagian belakang mobil. Namun hal ini ternyata sulit dilakukan karena kendaraan masih mengalami *understeer* pada saat berakselerasi karena adanya *Limited Slip Differential* di roda belakang.

Dalam tugas akhir ini, dilakukan analisa tentang stabilitas arah gerak belok kendaraan pada mobil formula *Sapu Angin Speed 3* ini pada lintasan *skid-pad* dengan mengabaikan pengaruh *Limited Slip Differential* dan menganggap *chassis* mobil cukup *rigid* untuk melakukan *skid-pad* dengan baik. Hasil analisa diharapkan dapat memberikan arahan pada desain mobil formula *Sapu Angin Speed 4* untuk mendapatkan kemampuan maneuver yang lebih baik supaya dapat memperoleh hasil yang maksimal pada kompetisi *Student Formula Japan 2016*.

1.2. Rumusan Masalah

Dalam merancang mobil *Sapu Angin Speed 3* ini akan menemui beberapa kendala, antara lain *oversteer* dan *understeer*.

Maka dari itu beberapa kendala tersebut dapat dirumuskan sebagai berikut:

1. Bagaimana mengevaluasi rancangan mobil *Sapu Angin Speed 3* pada lintasan *skid-pad* dengan mengabaikan pengaruh *Limited Slip Differential* dan menganggap *chassis* mobil cukup *rigid*.
2. Bagaimana memperbaiki rancangan mobil *Sapuan angin Speed 3* supaya dapat menjuarai *skid-pad* dari segi posisi titik berat dan sudut belok.
3. Bagaimana pengaruh *Ackermann steering* pada mobil berpenggerak roda belakang pada lintasan *skid-pad*.

1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan dari Tugas Akhir ini antara lain :

1. Mengevaluasi rancangan mobil *Sapu Angin Speed 3* pada lintasan *skid-pad* dengan mengabaikan pengaruh *Limited Slip Differential* dan menganggap *chassis* mobil cukup *rigid*.
2. Memperbaiki rancangan mobil *Sapuan angin Speed 3* supaya dapat menjuarai *skid-pad* dari segi posisi titik berat dan sudut belok.
3. Mengetahui pengaruh *Ackermann steering* pada mobil berpenggerak roda belakang pada lintasan *skid-pad*.

1.4. Batasan Masalah

Adapun batasan masalah pada Tugas Akhir ini adalah :

1. Kendaraan yang digunakan adalah kendaraan formula dengan 1 penumpang.
2. Spesifikasi rancangan kendaraan formula antara lain sebagai berikut :

a. Wheelbase	:	1555 mm
b. Track width depan	:	1257 mm
c. Track width belakang	:	1198 mm
d. Panjang kendaraan	:	2804 mm
e. Lebar kendaraan	:	1442 mm
f. Tinggi kendaraan	:	1295 mm

- g. Berat kosong : 232.5 kg
- h. Berat berpenumpang : 287.5 kg
- i. Tinggi CG : 313.875 mm
- j. Diameter roda : 17 inch
- 3. Analisa dilakukan pada kecepatan awal 20 km/jam.
- 4. Kendaraan berpengerak roda belakang.
- 5. Gaya dari angin hanya gaya hambat angin/*drag force* (F_d).
- 6. Kecepatan angin sama dengan kecepatan relatif mobil.
- 7. Jalan yang dilalui dianggap tidak bergelombang dan rata.
- 8. Rancangan variasi titik berat terdiri dari 55:45, 50:50, 45:55.
- 9. *Dynamic test* kendaraan formula hanya pada lintasan *skid pad*.
- 10. Desain kendaraan formula ini berdasarkan peraturan dari *SAE International* dan *Local Rule Student Formula Japan*.
- 11. Kendaraan hanya dipergunakan untuk kompetisi *Student Formula Japan 2015*.

1.5. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penulisan Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

- 1. Penulisan Tugas Akhir ini dapat dijadikan sebagai referensi untuk merancang kendaraan formula di kemudian hari.
- 2. Membantu mahasiswa dalam memahami konsep perilaku arah pada kendaraan.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. *Student Formula Japan 2015*

2.1.1. *Tentang student formula Japan 2015*

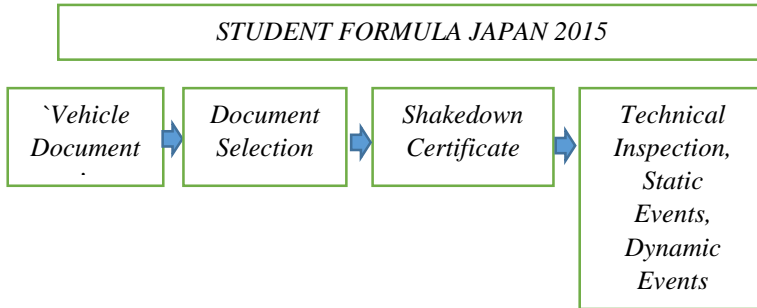
Student Formula Japan merupakan suatu kompetisi bagi mahasiswa di penjuru dunia untuk mendasain, merancang, memasarkan serta menguji coba kemampuan mobil berjenis formula ini di lintasan. Pada tahun 2015, kompetisi ini akan diadakan di sirkuit ECOPA (Ogayasama Sport Park), Shizuoka Prefecture, Japan. Model kendaraan formula yang dikompetisikan ini harus disesuaikan dengan peraturan yang dibuat oleh SAE (*Society of Automotive Engineer*) seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.1.



Gambar 2.1 Mobil Formula pada kompetisi *Student Formula Japan* (www.blaessinger.de)^[4]

2.1.2. Alur Kompetisi

Berdasarkan peraturan *SAE International 2014*, alur kompetisi dari *Student Formula Japan 2015* dapat digambarkan sebagai berikut:



Gambar 2.2 Alur Kompetisi *Student Formula Japan 2015*

Berdasarkan dari gambar tersebut, setelah dokumen dari kendaraan diseleksi dan diterima maka bisa dinyatakan bahwa kendaraan dapat mengikuti kompetisi tersebut. Pada kompetisi ini terdiri dari *Static Events* dan *Dynamic Events*. Adapun kegiatan dari *Static Events* antara lain:

1. *Technical Inspection*
2. *Cost Report*
3. *Business Plan Presentation*
4. *Design Report Presentation*

Sedangkan kegiatan dari *Dynamic Events* meliputi :

1. *Skid pad*
2. *Acceleration*
3. *Autocross*
4. *Endurance test*
5. *Fuel Efficiency*

2.2. Dynamic Test Student Formula Japan 2015

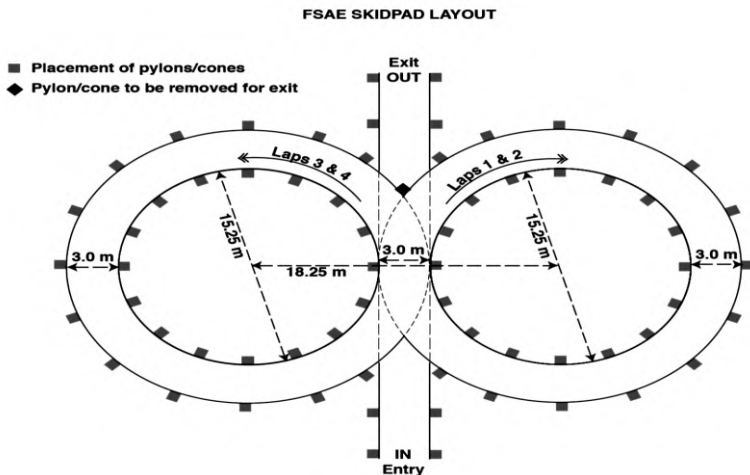
2.2.1. Skid pad event

2.2.1.1. Tujuan

Tujuan dari skid pad event adalah untuk mengukur kemampuan menikung mobil pada permukaan yang datar dengan radius belok konstan.

2.2.1.2. Teknis Perlombaan

- Layout Skid Pad Event dapat ditunjukkan seperti gambar pada dibawah ini.



Gambar 2.3 Layout skid pad event (Formula Student Rules, 2014)^[5]

- Terdapat 16 *pylons* yang akan ditempatkan pada lingkaran dalam dan 13 *pylons* yang ditempatkan pada lingkaran luar lintasan skid pad.
- Diantara lingkaran skid pad terdapat posisi *Entry*, dimana menunjukkan posisi mobil memasuki lintasan skid pad.

Sedangkan *Exit* menunjukkan bahwa posisi mobil keluar setelah melakukan *skid pad event*.

- Setiap lingkaran akan ditandai dengan garis kapur, pada lingkaran dalam dan lingkaran luar.
- Setiap mobil diperbolehkan mengikuti 2 kali percobaan. Pada setiap percobaan harus dikendarai dengan pengemudi yang berbeda. Tiap pengemudi memiliki 2 kali kesempatan.
- Kendaraan masuk lurus menuju ke lingkaran pertama yang berada di sisi kanan pengemudi untuk melakukan 2 kali putaran pada lap 1 dan 2 kemudian akan dihitung waktunya. Lap berikutnya kendaraan memasuki lingkaran kedua yang berada di sisi kiri pengemudi untuk melakukan 2 kali putaran pada lap 3 dan 4 kemudian akan dihitung waktunya. Setelah itu kendaraan keluar dari lintasan *skid pad*.

2.2.1.3. Penilaian

Adapun penilaian dari *skid pad event* ini berdasarkan kemampuan akselerasi lateral. Akselerasi lateral dihitung dari $2.012 \text{ diameter}/t^2$. Diameter diasumsikan sebesar 17.10 meter.

2.2.2. Acceleration Event

2.2.2.1. Tujuan

Tujuan dari *acceleration event* adalah mengevaluasi akselerasi dari kendaraan pada lintasan lurus yang datar.

2.2.2.2. Teknis Perlombaan

- Pada lintasan *acceleration* memiliki panjang 75 meter (28 yard) dari garis start hingga garis finish. Lebar dari lintasan sekitar 4.9 meter (16 feet)
- Cone diletakkan disepanjang pinggir lintasan dengan interval jarak 5 paces (20 feet).
- Jarak bagian kendaraan yang terdepan 0,3 meter (11,8 inches) dari garis start

- Dalam tahap ini ada dua babak. Setiap babak harus mempunyai 2 *driver* yang berbeda.

2.2.2.3. Penilaian

Penilaian dari *acceleration event* berdasarkan waktu tempuh kendaraan dari posisi garis start hingga melewati garis finish.

2.2.3. Autocross Event

2.2.3.1. Tujuan

Tujuan dari *autocross event* ini adalah untuk mengevaluasi kemampuan manuver dan handling dari kendaraan di lintasan yang berbelok-belok tanpa ada halangan dari mobil pesaing. Lintasan *autocross* akan dikombinasikan dengan fitur kinerja dari akselerasi, pengereman dan menikung dalam satu lintasan.

2.2.3.2. Teknis Perlombaan

- Rata-rata kecepatan yang digunakan adalah 40 km/jam sampai 48 km/jam.
- Spesifikasi lintasan terdiri dari :
 - ♣ Lintasan lurus : tidak lebih panjang dari 60 meter (200 *feet*) dengan belokan *hairpin* tidak lebih dari 45 meter (150 *feet*).
 - ♣ Belokan konstan : dengan diameter mulai dari 23 meter (75 *feet*) hingga 45 meter (148 *feet*).
 - ♣ Belokan *hairpin*: diameter luar minimum 9 meter (25.9 *feet*).
 - ♣ *Slalom* : terdapat *cone* yang berada satu garis dengan jarak 7.62 meter (25 *feet*) hingga 12.19 meter (40 *feet*).
 - ♣ *Miscellaneous* : lebar minimum lintasan sekitar 3.5 meter (11.5 *feet*)

- Panjang lintasan diperkirakan sepanjang 0.805 km (1/2 mil)
- Setiap pengemudi memiliki 2 kali kesempatan untuk mencatatkan waktu

2.2.3.3. Penilaian

Penilaian dari *autocross* ini berdasarkan waktu tempuh kendaraan dalam menempuh lintasan dalam 2 kali kesempatan. Waktu tempuh terbaik yang akan diambil sebagai waktu tempuh di lintasan *autocross*.

2.2.4. Endurance test

2.2.4.1. Tujuan

Endurance test didesain dengan tujuan untuk mengevaluasi performa keseluruhan dari kendaraan serta mengukur ketahanan dan kehandalan mobil itu sendiri.

2.2.4.2. Teknis perlombaan

- Kecepatan rata-rata yang digunakan sebaiknya 48 km/jam (29.8 mph) hingga 57 km/jam (35.4 mph) dengan kecepatan maksimum diperkirakan 105 km/jam (65.2 mph).
- Spesifikasi lintasan pada *endurance event* :
 - ◆ Lintasan lurus : Tidak lebih dari 77 meter dengan putaran balik kendaraan yang terletak di ujung dengan lebar belokan 61 meter.
 - ◆ Belokan konstan : Diameter 30 meter sampai 54 meter.
 - ◆ *Hairpin* : Diameter luar minimum 9 meter.
 - ◆ *Slalom* : Cone diletakkan lurus dengan jarak 9 meter sampai 15 meter.

- ♦ *Miscellaneous* : Dengan standart minimum lebar lintasan 4,5 meter.

2.2.4.3. Penilaian

Penilaian dari *Endurance test* ini adalah berdasarkan waktu tempuh kendaraan selama menempuh *endurance test*.

2.2.5. Fuel efficiency

Penilaian dari *fuel efficiency* diperoleh pada saat telah melakukan *endurance test* berdasarkan konsumsi bahan bakar.

2.2 Perancangan Mobil Balap

Berdasarkan buku “*Race car vehicle dynamics*”, tujuan utama secara keseluruhan dalam balap yaitu pencapaian dari konfigurasi kendaraan, yang dapat diterima melalui interpretasi secara praktek sesuai peraturan, yang mampu melewati lintasan dengan waktu yang sangat cepat saat dioperasikan secara manual oleh pengendara dengan memanfaatkan teknik mengemudi pengemudi itu sendiri.

Dalam merancang mobil balap terdapat hal-hal yang perlu diperhatikan. Menurut sumber yang ditulis dalam buku “*Motor car development/fabrication guide*”, hal-hal yang perlu diperhatikan antara lain:

1. Massa kendaraan
2. Posisi dari pusat massa (*center of gravity*)
3. Jarak antara roda depan dan belakang (*wheel base*)
4. Pemilihan mesin, tipe mesin, posisi penempatan mesin dan massa mesin
5. Tipe transmisi, posisi transmisi dan massa transmisi
6. Ukuran ban
7. Rasio gigi pada *steering* dan diameter *steer*
8. Penempatan posisi pengemudi, lokasi pedal gas, rem dan kopling

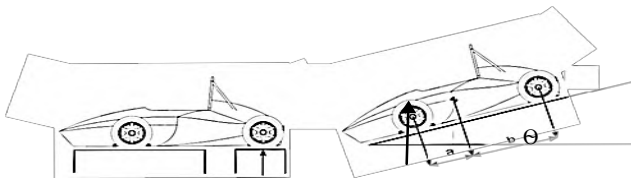
9. Kapasitas tangki bahan bakar dan posisinya
10. Posisi dari sistem pembuangan
11. Struktur dari *chassis*

Sebelum merancang mobil balap tentunya harus melalui proses desain yang baik dan teliti, sebab apabila dalam merancang mobil balap bila tidak melalui proses desain maka kendaraan yang akan dirancang tidak akan sesuai dengan harapan.

2.3. Dasar Teori Analisa Stabilitas

2.2.3.1. Center of gravity

Untuk mendapatkan titik berat dari kendaraan, bisa dilakukan dengan cara gaya reaksi yang terjadi pada roda depan atau roda belakang. Pengukuran dilakukan pada kondisi kendaraan benar-benar dalam posisi datar/ horizontal. Gaya reaksi pada roda depan (W_f) dan gaya reaksi pada roda belakang (W_r) apabila dijumlahkan akan sama dengan berat total dari kendaraan (W). Nilai W_f dan W_r jika dijumlahkan akan bernilai W ($W = W_f + W_r$).



Gambar 2.4 Penimbangan berat untuk mencari titik berat
(Deni Rizal Kaunang, 2013)^[1]

Untuk mengukur jarak sumbu roda depan dengan pusat titik berat, dapat ditentukan dengan menggunakan prinsip mekanika teknik. Dengan mengambil sumbu roda depan sebagai pusat momen, maka akan didapat persamaan sebagai berikut:

$$a = \frac{(a+b)Wr}{Wf+Wr} \quad (2.1)$$

Untuk mengukur jarak antara sumbu roda belakang dengan pusat titik berat, dapat dicari dengan mengambil sumbu roda depan sebagai pusat momen sehingga akan didapat persamaan sebagai berikut:

$$b = \frac{(a+b)Wf}{Wf+Wr} \quad (2.2)$$

Untuk mengukur jarak vertikal antara sumbu roda dengan pusat titik berat dapat dicari dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$hr = \frac{W'f(a+b)-W.b}{W \tan \phi}$$

Perubahan posisi titik berat akan dilakukan jika kendaraan mengalami skid atau guling. Jika kendaraan mengalami skid pada roda belakang maka perlu mengeser posisi titik berat ke arah kiri atau ke depan. Dan jika kendaraan mengalami skid di depan maka hal yang perlu dilakukan menggeser posisi titik berat ke arah kanan atau belakang. Selain itu, jika kendaraan mengalami guling maka perlu dirubah ketinggian dari posisi titik berat. Pada tugas akhir ini, akan divariasikan posisi titik berat yang meliputi :

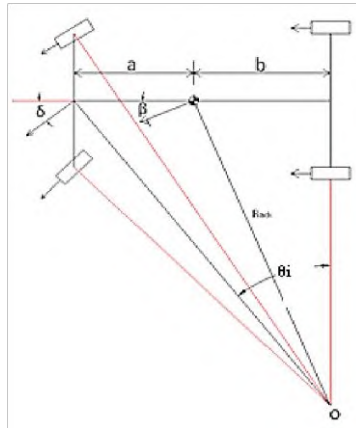
- a) Posisi 50:50 (tepat di tengah kendaraan)
- b) Posisi 45:55 (bergeser ke kiri)
- c) Posisi 55:45 (bergeser ke kanan)

2.3.2. Perilaku belok kendaraan

2.3.2.1. Perilaku kendaraan belok kondisi ideal/ ackerman

Stabilitas kendaraan dapat dinilai ketika kendaraan tersebut mengalami gerakan belok. Kondisi ideal kendaraan saat melakukan gerakan belok dikenal dengan nama kondisi *Ackerman*. Kondisi *Ackerman* adalah kondisi di mana pada saat berbelok semua roda (ban) tidak terjadi sudut slip sehingga arah gerak roda sama dengan arah bidang putar dari roda. Secara

sederhana, gerakan kendaraan saat berbelok tampak seperti gambar 2.5.



Gambar 2.5 Kinematika kendaraan belok tanpa sudut slip
(Ashadi Fitriawan, 2012)^[2]

Keterangan :

- O = pusat sumbu putar sesaat
- Rack = radius belok *ackerman* (ideal)
- θ_i = sudut belok ideal
- β = sudut slip kendaraan
- δ_f = sudut steer rata-rata roda depan

Besarnya radius belok ideal (*ackerman*) secara sederhana dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan ;

$$R_{ack} = \frac{a+b}{\delta_f} 57,29 \quad (2.3)$$

di mana :

R_{ack} : dalam satuan derajat

a, b : dalam satuan meter

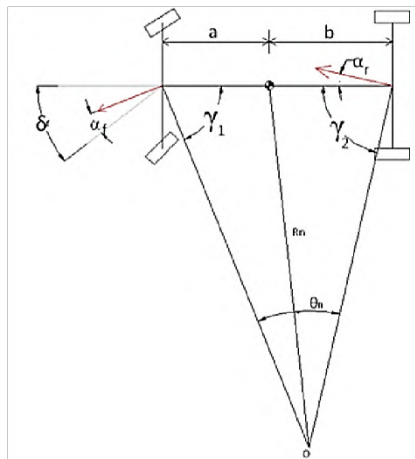
δ_f : dalam satuan derajat

Sudut *side slip* (β) dapat dihitung secara sederhana dengan menggunakan persamaan trigonometri

$$\beta = \arcsin\left(\frac{b}{R_{ack}}\right) \quad (2.4)$$

2.3.2.2. Perilaku kendaraan belok kondisi nyata

Kondisi ideal bisa terjadi apabila saat berbelok gaya lateral yang dialami roda sangat kecil (tidak mampu membentuk sudut slip pada ban). Pada kondisi nyata, kondisi ideal bisa tercapai saat kendaraan melakukan parkir dengan kecepatan rendah (gaya sentrifugal rendah). Gerakan kendaraan saat berbelok secara sederhana dapat dilihat pada gambar 2.6.



Gambar 2.6 Kinematika kendaraan belok dengan sudut slip
(Ashadi Fitriawan, 2012)^[2]

Keterangan:

θ_n = sudut belok nyata

- R_n = radius belok nyata
 α_f = sudut slip rata-rata ban roda depan
 α_r = sudut slip rata-rata roda belakang
 O = pusat belok nyata

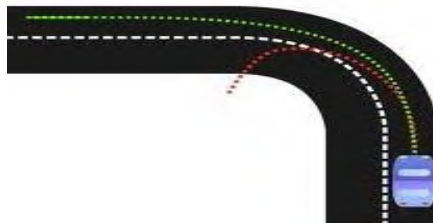
Saat berbelok, ban pada roda akan dipengaruhi gaya lateral sehingga akan mengakibatkan sudut slip pada roda. Gaya sentrifugal merupakan fungsi massa, kecepatan, dan radius. Semakin besar massa dan kecepatan kendaraan, maka sudut slip kendaraan akan semakin besar dan semakin tajam tikungan yang dilewati akan membuat sudut slip roda menjadi semakin besar pula.

$$R_n = \frac{a+b}{\delta_f + \alpha_r - \alpha_f} 57,29 \quad (2.7)$$

a. Perilaku *Oversteer*

Kondisi kendaraan yang mengalami *oversteer* mendapat pengaruh dominan dari sudut slip roda depan dan roda belakang (akibat gaya sentrifugal). Pada saat kendaraan mengalami *oversteer*, artinya sudut slip rata-rata roda belakang (α_r) lebih besar dibandingkan dengan sudut slip rata-rata roda depan (α_f).

dengan $\alpha_f < \alpha_r$,
$$R_n = \frac{a+b}{\delta_f + \alpha_r - \alpha_f} 57,29 \quad (2.8)$$



Gambar 2.7 Kendaraan mengalami *oversteer* (Deni Rizal Kaunang, 2013)^[1]

b. Perilaku *Underster*

Kendaraan yang mengalami *understeer* merupakan kendaraan dengan kondisi sudut slip rata-rata roda depan (α_f) lebih besar dari pada sudut slip rata-rata roda belakang (α_r). Kendaraan yang mengalami *understeer* akan mengalami kesulitan saat berbelok, sehingga akan membutuhkan sudut belok (δ_f) lebih besar dibandingkan dengan kondisi *ackerman*.

$$\text{dengan } \alpha_f > \alpha_r, \quad R_n = \frac{a+b}{\delta_f + \alpha_r - \alpha_f} 57,29 \quad (2.9)$$



Gambar 2.8 Kendaraan mengalami *understeer* (Deni Rizal Kaunang, 2013)^[1]

c. Perilaku netral

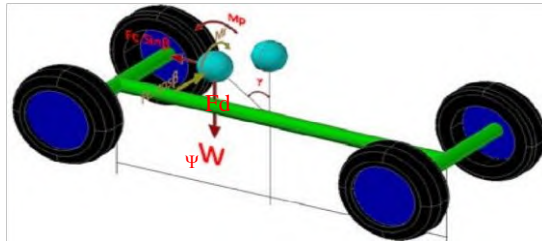
Perilaku netral merupakan perilaku belok kendaraan dimana sudut slip rata-rata roda belakang sama dengan sudut slip rata-rata roda depan. Pada kondisi ini, radius belok nyata dari kendaraan seakan-akan hanya dipengaruhi oleh sudut belok rata-rata roda depan. Sesungguhnya roda depan dan roda belakang juga mengalami slip. Akan tetapi sudut slip yang terjadi besarnya sama.

$$\text{dengan } \alpha_f = \alpha_r, \quad R_n = \frac{a+b}{\delta_f + \alpha_r - \alpha_f} 57,29 \quad (2.10)$$

2.3.3. Perumusan gaya-gaya dari kendaraan belok

2.3.3.1. Jalan datar

Gaya-gaya yang bekerja pada kendaraan saat berbelok secara umum dapat dilihat pada gambar di bawah ini. Apabila gaya sentrifugal arah sumbu-x diuraikan pada roda depan dan roda belakang, besarnya gaya sentrifugal yang diterima oleh roda depan (F_{CF}) dan roda belakang (F_{CR}) adalah sebagai berikut:



Gambar 2.9 Gaya-gaya dan momen pada kendaraan (*I Nyoman Sutantra, 2010*)^[3]

$$F_{cf} = \frac{b}{a+b} F_c \cos \beta \text{ dan } F_{cr} = \frac{a}{a+b} F_c \cos \beta \quad (2.11)$$

Akibat dari gaya sentrifugal ini pula muncul momen *rolling* (M_r) dan momen *pitching* (M_p).

$$M_r = F_c \cos \beta \cdot r_c + W \cdot r_c \cdot \gamma \quad (2.12)$$

$$M_p = (F_c \sin \beta - F_d) r_c + W \cdot r_c \cdot \psi \quad (2.13)$$

Besarnya gaya hambat angin / *drag force* dapat ditentukan dengan persamaan sebagai berikut :

$$F_d = \frac{1}{2} \cdot C_d \cdot \rho \cdot V_a^2 \cdot A_f \quad (2.14)$$

Dimana : F_d = gaya hambat angin/*drag force* (N)

ρ = *density* udara (kg/m^3)

V_a = kecepatan relative angin terhadap kendaraan
(m/s^2)

A_f = luas bidang frontal kendaraan (m^2)
 C_d = koefisien gaya hambat

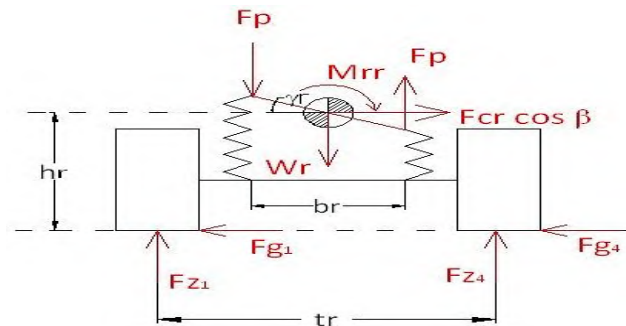
a. *Lateral Transfer Load*

Lateral transfer load merupakan perpindahan beban akibat momen rolling dari kendaraan saat mengalami gerakan belok. Pada saat berbelok, akan timbul gaya sentrifugal searah dengan arah jari-jari nyata dari kendaraan. Arah dari gaya sentrifugal ini membentuk sudut sebesar β terhadap sumbu y. Apabila diuraikan terhadap sumbu-x, maka akan terjadi momen *pitching*. Momen *pitching* inilah yang menyebabkan terjadinya perpindahan beban terhadap gaya normal pada ban. Yang dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$\text{Lateral load transfer}(N) = \frac{\text{Lateral acceleration}(g) \times \text{Weight}(N) \times \text{cg height}(m)}{\text{Track width}(m)}$$

- **Analisis pada roda belakang**

Untuk menganalisa gaya pada roda belakang, perlu dimodelkan seperti gambar 2.10.



Gambar 2.10 Pengaruh gaya sentrifugal pada momen *rolling* terhadap roda belakang roda (*I Nyoman Sutantra, 2010*)^[3]

Gaya normal yang bekerja pada kedua ban belakang dipengaruhi oleh tiga gaya, yaitu gaya berat, gaya sentrifugal, momen *rolling*.

$$F_{z_1} = F_{z_1} \big|_{W_r} + F_{z_1} \big|_{F_{cr} \cos \beta} + F_{z_1} \big|_{M_{rr}}$$

$$\begin{aligned} \blacklozenge \quad F_{z_1} \big|_{W_r} &= \frac{W_r}{2} \\ \blacklozenge \quad F_{z_1} \big|_{F_{cr} \cos \beta} &= -\frac{F_{cr} \cdot h_r}{t_r} \\ \blacklozenge \quad F_{z_1} \big|_{M_{rr}} &= -\frac{M_{rr}}{t_r} \end{aligned}$$

$$F_{z_1} = \frac{W_r}{2} - \frac{\frac{a}{a+b}(F_c \cos \beta h_r)}{t_r} - \frac{\frac{a}{a+b}(F_c \cos \beta r_c + W \cdot r_c \cdot \gamma)}{t_r} \quad (2.15)$$

Untuk mencari F_{z_4} , analog dengan F_{z_1}

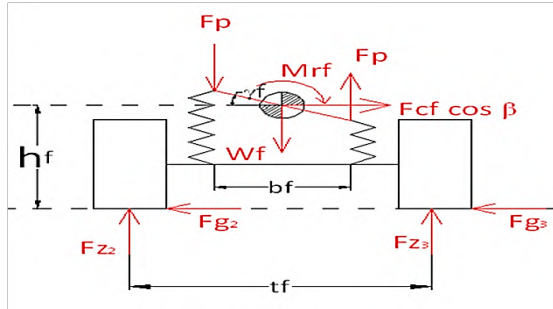
$$F_{z_4} = \frac{W_r}{2} + \frac{\frac{a}{a+b}(F_c \cos \beta h_r)}{t_r} + \frac{\frac{a}{a+b}(F_c \cos \beta r_c + W \cdot r_c \cdot \gamma)}{t_r} \quad (2.16)$$

Besarnya momen *rolling* pada roda belakang (M_{rr}) besarnya sama dengan momen yang diterima oleh suspense roda belakang (M_{sr}).

$$\begin{aligned} M_{rr} &= M_{sr} \\ \frac{a}{a+b}(F_c \cdot \cos \beta \cdot r_c) + W \cdot r_c \cdot \gamma &= k_{sr} \cdot \frac{b_r^2}{2} \cdot \gamma \end{aligned} \quad (2.17)$$

- **Analisis pada roda depan**

Sedangkan untuk menganalisa roda depan, perlu dimodelkan seperti pada gambar 2.11.



Gambar 2.11 Pengaruh gaya sentrifugal pada momen rolling terhadap roda depan (*I Nyoman Sutantra, 2010*)

Besarnya nilai dari gaya normal ban depan (F_{z2} dan F_{z3}) adalah :

$$F_{z2} = \frac{W_f}{2} - \frac{\frac{b}{a+b}(F_c \cos \beta h_f)}{t_f} - \frac{\frac{b}{a+b}(F_c \cos \beta r_c + W \cdot r_c \cdot \gamma)}{t_f} \quad (2.18)$$

$$F_{z3} = \frac{W_f}{2} + \frac{\frac{b}{a+b}(F_c \cos \beta h_f)}{t_f} + \frac{\frac{b}{a+b}(F_c \cos \beta r_c + W \cdot r_c \cdot \gamma)}{t_f} \quad (2.19)$$

Besarnya momen *rolling* pada roda depan (M_{rf}) sama dengan momen yang diterima oleh suspensi roda depan (M_{sf}).

$$M_{rf} = M_{sf} \\ \frac{b}{a+b} F_c \cdot \cos \beta \cdot r_c + W \cdot r_c \cdot \gamma = k_{sf} \cdot \frac{b_f^2}{2} \cdot \gamma \quad (2.20)$$

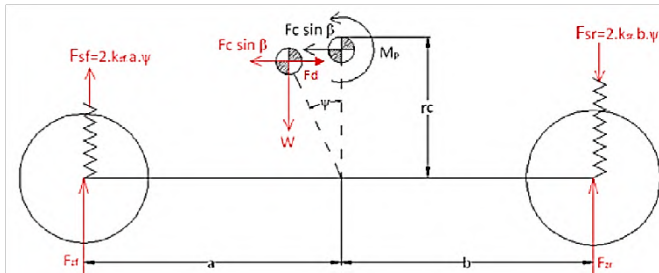
b. Longitudinal Transfer Load

Perpindahan beban akibat beban longitudinal merupakan perpindahan yang terjadi karena gerakan *pitching* / angguk dari

kendaraan saat kendaraan direm, dipercepat, atau sedang mengalami gerakan belok. Arah dari gaya sentrifugal ini membentuk sudut sebesar ψ terhadap sumbu y. Apabila diuraikan terhadap sumbu-x, maka akan terjadi momen *pitching*. Momen *pitching* inilah yang menyebabkan terjadinya perpindahan beban terhadap gaya normal pada ban.

$$\text{Longitudinal load transfer}(N) = \text{Acceleration}(g) \times \frac{\text{Weight}(N) \times \text{cg height}(m)}{\text{Wheelbase}(m)}$$

- **Perpindahan beban longitudinal ke arah sumbu z**
Untuk menganalisa beban longitudinal ke arah sumbu z, perlu dilakukan permodelan seperti gambar 2.12.



Gambar 2.12 Pengaruh gaya sentrifugal pada gerakan pitching bawah, diperlihatkan gambar FBD suatu kendaraan saat berbelok tampak dari atas. (I Nyoman Sutantra, 2010)^[3]

Analisa Roda Depan

$$F_{zf} = F_{zf}|_{F_c \sin \beta - F_d} + F_{zf}|_{M_p}$$

$$F_{zf} = \frac{(F_c \sin \beta - F_d) \cdot r_c + W \cdot r_c \cdot \psi}{a + b}$$

$$F_{z_2} = F_{z_3} = \frac{1}{2} F_{z_f} = \frac{1}{2} \left(\frac{(F_c \sin \beta - F_d) r_c + W \cdot r_c \cdot \psi}{a+b} \right) \quad (2.21)$$

Analisa Roda Belakang

$$F_{zr} = -F_{zr}|_{F_c \sin \beta - F_d + F_{zr}}|_{Mp}$$

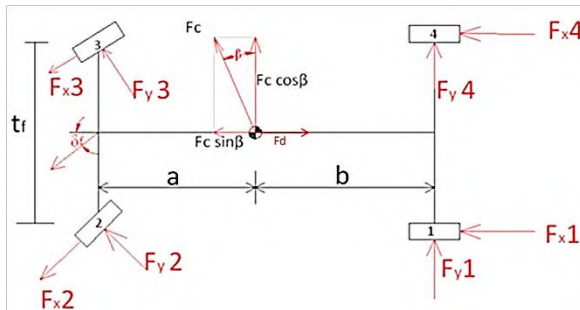
$$F_{zr} = - \left(\frac{(F_c \sin \beta - F_d) \cdot r_c + W \cdot r_c \cdot \psi}{a+b} \right)$$

$$F_{z_1} = F_{z_4} = \frac{1}{2} F_{z_r} = - \frac{1}{2} \left(\frac{(F_c \sin \beta - F_d) r_c + W \cdot r_c \cdot \psi}{a+b} \right) \quad (2.22)$$

Untuk mencari besarnya ψ , dapat dicari dengan persamaan di bawah ini :

$$\psi = \frac{(F_c \sin \beta - F_d) r_c}{(2k_{sr} b^2 + 2k_{sf} a^2 - W \cdot r_c)} \quad (2.23)$$

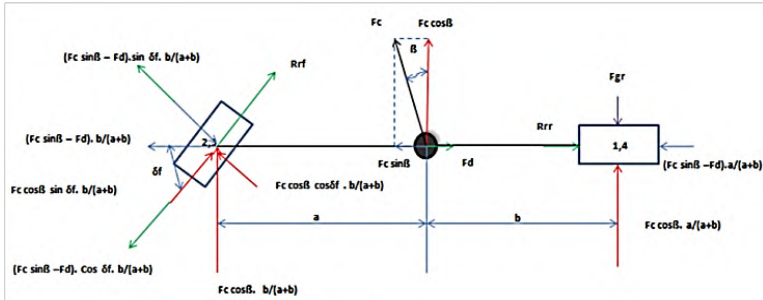
Selain gaya arah sumbu-z, pada saat berbelok kendaraan juga mengalami gaya arah sumbu-x dan sumbu-y. Pada gambar di bawah, diperlihatkan gambar FBD suatu kendaraan saat berbelok tampak dari atas.



Gambar 2.13 Gaya Pada Arah-x dan Arah-y (I Nyoman Sutantra, 2010)^[1]

Untuk lebih memudahkan dalam menganalisis, gambar di atas disederhanakan menjadi model sepeda (model dengan 2 roda). Gambar di bawah merupakan penyederhanaan dari model mobil (4

roda) ke model sepeda (2 roda). Arah dari gaya sentrifugal adalah searah dengan jari-jari nyata dari kendaraan. Pada saat berbelok, roda depan akan mengalami perubahan posisi dari posisi awalnya (posisi lurus). roda depan akan bergeser sebesar δ_f terhadap sumbu-x awal. Oleh karena itu untuk menentukan besarnya gaya-gaya yang bekerja pada sumbu x dan sumbu y (F_x dan F_y), gaya sentrifugal yang bekerja pada titik pusat berat perlu diuraikan kepada roda belakang dan roda depan. Untuk roda depan, gaya sentrifugal yang sudah diuraikan sebelumnya perlu diuraikan lagi menurut arah dari roda kendaraan.



Gambar 2.14 Gaya pada arah-x dan arah-y dengan model sepeda (Ashadi Fitrawan, 2012)^[2]

Setelah gaya-gaya diuraikan, baru bisa ditentukan besarnya gaya-gaya (F_x dan F_y) yang bekerja pada ban. Besarnya F_x dan F_y masing-masing roda adalah sebagai berikut :

$$\spadesuit \quad F_{x_1} = F_{x_4} = \frac{a}{2(a+b)} (F_c \sin \beta - F_d) - R_{rr} \quad (2.24)$$

$$\spadesuit \quad F_{y_1} = F_{y_4} = \frac{a}{2(a+b)} F_c \cos \beta \quad (2.25)$$

$$\spadesuit \quad F_{x_2} = F_{x_3} = \frac{b}{2(a+b)} (F_c \sin \beta - F_d) \cos \delta_f - \frac{b}{2(a+b)} F_c \cos \beta \sin \delta_f - R_{rf} \quad (2.26)$$

$$\blackstar \quad F_{y_2} = F_{y_3} = \frac{b}{2(a+b)} F_c \cos \beta \cos \delta_f + \frac{b}{2(a+b)} (F_c \sin \beta - F_d) \sin \delta_f \quad (2.27)$$

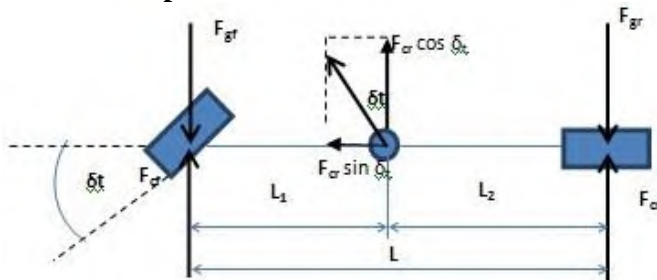
Berdasarkan buku *Teknologi Otomotif, I Nyoman Sutantra*, untuk menentukan nilai *rolling resistance* (R_r), perlu mengetahui harga rata-rata dari koefisien hambatan rolling untuk berbagai jenis ban dan kondisi jalan, seperti table 2.1 di bawah ini.

Tabel 2.1. Harga rata-rata hambatan rolling untuk beberapa jenis ban dan kondisi jalan. (*I Nyoman Sutantra, 2010*)^[3]

Jenis Kendaraan	Permukaan Jalan		
	Beton	Keras/Aspal	Pasir
Kendaraan Penumpang	0,015	0,08	0,3
Truk	0,012	0,06	0,25
Traktor	0,020	0,04	0,2

2.3.4. Analisa Skid

2.3.4.1. Model sepeda



Gambar 2.15 Analisa skid dengan menggunakan model sepeda
(*Deni Rizal Kaunang, 2013*)

Berdasarkan permodelan di atas, didapatkan persamaan untuk menentukan gaya sentrifugal (F_c) sebagai berikut:

$$F_{cr} = \frac{L_2}{L} F_c \cos \delta_f$$

$$F_{cf} = \frac{L_1}{L} F_c \cos \delta_f$$

2.3.4.2. Analisa Roda Depan Skid

Gaya gesek yang terjadi pada roda depan dengan jalan adalah perkalian antara gaya normal yang terjadi pada roda depan dengan koefisien gesek antara ban dan jalan. Berdasarkan buku *Teknologi Otomotif* edisi kedua gaya gesek diperoleh dengan persamaan sebagai berikut:

$$F_{gf} = \mu \cdot F_{zf} \quad (2.28)$$

Di mana :

μ = koefisien gesek antara ban dan jalan

F_{zf} = gaya normal yang terjadi pada roda depan

Kendaraan mengalami kondisi kritis jika , $F_{cf} = F_{gf}$. dan akan mengalami kecepatan kritis (V_{fs}) sebesar :

$$V_{kritis} = V_{fs} = \sqrt{\frac{\mu \cdot R_{ack} \cdot g \cdot m \cdot L_2}{L_2 \cdot m \cdot \cos \delta_f - m \cdot h \cdot \sin \delta_f + k_a \cdot R_{ack} \cdot h}} \quad (2.29)$$

Roda depan akan skid pada sudut belok δ_f jika :

$$V \text{ kendaraan} \geq V_{fs}$$

2.3.4.3. Analisa Roda Belakang Skid

Gaya gesek yang terjadi pada roda depan dengan jalan adalah perkalian antara gaya normal yang terjadi pada roda depan dengan koefisien gesek antara ban dan jalan. Berdasarkan buku *Teknologi Otomotif* edisi kedua gaya gesek diperoleh dengan persamaan sebagai berikut:

$$F_{gr} = \mu \cdot F_{zr} \quad (2.28)$$

Di mana :

μ = koefisien gesek antara ban dan jalan

F_{zr} = gaya normal yang terjadi pada roda belakang

Kendaraan mengalami kondisi kritis jika , $F_{cr} = F_{gr}$. dan akan mengalami kecepatan kritis (V_{rs}) sebesar:

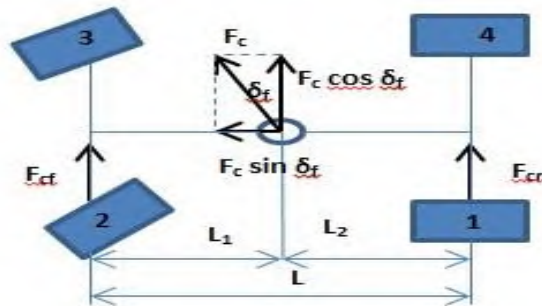
$$V_{kritis} = V_{rs} = \sqrt{\frac{\mu \cdot R_{ack} \cdot g \cdot m \cdot L_1}{L_1 \cdot m \cdot \cos \delta_f + \mu \cdot m \cdot h \cdot \sin \delta_f + k_a \cdot \mu \cdot h}} \quad (2.31)$$

Roda belakang akan skid pada sudut belok δ_f , jika :

$V \text{ kendaraan} > V_{rs}$

2.3.5 Analisa Guling

Kendaraan akan mengalami guling, pada saat roda terangkat dengan $F_{zi} \leq 0$, sesuai dengan gambar skema di bawah ini.



Gambar 2.16 Analisa Guling Kendaraan (Deni Rizal Kaunang, 2013)^[1]

Dari gambar 2.16, diperoleh persamaan sebagai berikut.

$$F_{cr} = \frac{L_1}{L} F_c \cos \delta_f$$

$$F_{cf} = \frac{L_2}{L} F_c \cos \delta_f$$

2.3.5.1 Analisa Roda Depan Guling

Persamaan- persamaan pada roda depan (roda 2 dan 3) adalah sebagai berikut:

$$F_{z2} = \frac{L_2 \cdot W}{2} + \frac{m \cdot v^2 \cdot h \sin \delta_f}{R_{ack} \cdot 2 \cdot L} - \frac{L_2 \cdot h}{L \cdot t} \cdot \frac{m \cdot v^2}{R_{ack}} \cdot \cos \delta_f \quad (2.32)$$

$$F_{z3} = \frac{L_2 \cdot W}{2} + \frac{m \cdot v^2 \cdot h \sin \delta_f}{R_{ack} \cdot 2 \cdot L} + \frac{L_2 \cdot h}{L \cdot t} \cdot \frac{m \cdot v^2}{R_{ack}} \cdot \cos \delta_f \quad (2.33)$$

Roda 2 terangkat, jika $F_{z2} \leq 0$

Roda 3 terangkat, jika $F_{z3} \leq 0$

$$V_{fg} = \sqrt{\frac{R_{ack} \cdot L_2 \cdot t \cdot g}{2 \cdot L_2 \cdot h \cdot \cos \delta_f + h \cdot t \cdot \sin \delta_f}}$$

2.3.5.2 Analisa Roda Belakang Guling

Persamaan-persamaan pada roda belakang (roda 1 dan 4) adalah sebagai berikut :

$$F_{z1} = \frac{L_2 \cdot W}{2} + \frac{m \cdot v^2 \cdot h \sin \delta_t}{R_{ack} \cdot 2 \cdot L} - \frac{L_2 \cdot h}{L \cdot t} \cdot \frac{m \cdot v^2}{R_{ack}} \cdot \cos \delta_f \quad (2.34)$$

$$F_{z4} = \frac{L_2 \cdot W}{2} + \frac{m \cdot v^2 \cdot h \sin \delta_t}{R_{ack} \cdot 2 \cdot L} - \frac{L_2 \cdot h}{L \cdot t} \cdot \frac{m \cdot v^2}{R_{ack}} \cdot \cos \delta_f \quad (2.35)$$

Roda 1 terangkat, jika $F_{z1} \leq 0$

Roda 4 terangkat, jika $F_{z4} \leq 0$

$$V_{rg} = \sqrt{\frac{R_{ack} \cdot L_1 \cdot t \cdot g}{2 \cdot L_1 \cdot h \cdot \cos \delta_f + h \cdot t \cdot \sin \delta_f}}$$

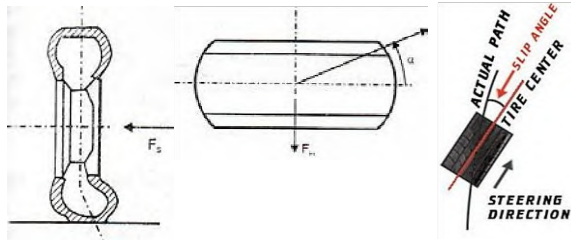
Jika $V_{fg} < V_{rg}$, maka roda depan terangkat.

Jika $V_{fg} > V_{rg}$, maka roda belakang terangkat.

2.3.6 Perumusan sudut slip

2.3.6.1. Faktor-Faktor yang Berpengaruh Terhadap Sudut Slip

Jika ban berputar tanpa mengalami gaya ke arah samping, maka ban akan bergerak sesuai dengan arah bidang ban. Namun pada saat berbelok, kendaraan akan menerima gaya sentrifugal. Akibat dari gaya sentrifugal ini, ban akan menerima deformasi lateral. Deformasi terjadi pada ban bagian bawah. Karena adanya gaya sentrifugal dan deformasi ini, maka lintasan dari ban akan membentuk sudut sebesar α terhadap lintasan yang seharusnya. Sudut α inilah yang dinamakan sudut slip.



Gambar 2.17 Sudut slip akibat deformasi pada ban (Deni Rizal Kaunang, 2013)^[1]

Sudut slip dipengaruhi oleh banyak faktor, antara lain:

1. Konstruksi Ban (K)
2. Gaya Longitudinal (F_x)
3. Gaya Lateral (F_y)
4. Gaya Normal (F_z)
5. Tekanan Ban (P)
6. Keausan Ban (A)

7. Gaya Sentrifugal (F_c)

Sedangkan untuk kendaraan formula *Sapu Angin Speed* 3 menggunakan jenis ban radial gundul (tanpa kembangan) , persamaan yang digunakan untuk menentukan besarnya sudut slip adalah sebagai berikut:

$$\alpha_{rg} = \frac{c_{rb}}{c_{rg}} \cdot \frac{c_{rs}}{c_{rp}} \cdot \frac{c_{rx}}{c_{ro}} [0.0879357 (F_y \alpha)^{0.79008} - 0.005277(F_z)] \quad (2.36)$$

Dimana:

α_{rg} = sudut slip ban radial gundul

C_{rb} = $0.00301003 (F_y \alpha)^{1.207861}$

C_{rg} = $0.0023636 (F_y \alpha)^{1.222203}$

C_{rp} = $33.5 + 5.30 (P) - 0.0916 (P)^2$

C_{rs} = $33.5 + 5.30 (P_s) - 0.0916 (P_s)^2$

P = tekanan ban (psi)

P_s = tekanan ban standar 25 psi

C_{rx} = $\left[\frac{F_y \alpha + 0.107827 (F_x)}{161.1398} \right]^{\frac{1}{0.474998}}$

C_{ro} = $\left[\frac{F_y \alpha}{161.1398} \right]^{\frac{1}{0.474998}}$

2.3.6.2. Gaya-Gaya pada Ban

Secara umum ban akan mengalami berbagai gaya dan momen pada saat kendaraan berbelok. Pada saat kendaraan belok di mana ban akan mengalami gaya ke samping yang dapat mengakibatkan arah gerak ban menjadi berubah sebesar sudut slip. Pada gambar di bawah ini, ditunjukkan gaya momen yang bekerja pada ban, termasuk juga sudut slip α .

Untuk sudut slip roda depan dan roda belakang adalah

- roda depan $\alpha_f = K_f \frac{V^2}{g \cdot R}$
- roda belakang $\alpha_r = K_r \frac{V^2}{g \cdot R}$

Sehingga dapat dirumuskan sebagai berikut.

$$K_{us} = (\alpha_f - \alpha_r) \frac{g \cdot R}{V^2} \quad (2.38)$$

Kecepatan kritis (V_{cr}) merupakan kecepatan dimana kendaraan terjadi gerakan yaw kendaraan berkembang dengan sangat cepat sehingga kendaraan sudah sangat sulit untuk dikendalikan dan dapat dirumuskan sebagai berikut.

$$V_{ch} = \sqrt{\frac{57,29 (a+b) \cdot g}{K_{us}}} \quad (2.39)$$

2.3.8 Stabilitas kendaraan belok

Untuk kendaraan belok, gerakan berputar atau *yawing* (Y_r) adalah parameter penting untuk ditinjau. Dengan dasar konsep kinematika:

$$Y_r = \frac{V_f + V_r}{a+b} \quad (2.40)$$

Untuk α_f , α_r , δ_f kecil maka:

$$V_r = V \tan \alpha_r = V \cdot \alpha_r \quad (2.41)$$

$$V_f = V \tan (\delta_f - \alpha_f) = V (\delta_f - \alpha_f) \quad (2.42)$$

Dengan memasukkan persamaan 2.41 dan 2.42 ke persamaan 2.40 dan mengetahui $\alpha_f = \alpha_r$ didapat:

$$Y_r = \frac{V \cdot \delta_f}{a+b} \quad \text{dimana : } \delta_f = \text{dalam radian} \quad (2.43)$$

$$Y_r = \frac{V \cdot \delta_f}{(a+b)57.29} \quad \text{dimana : } \delta_f = \text{dalam sudut} \quad (2.44)$$

Dengan mengacu pada persamaan di atas, kecepatan *yawing understeer* didapat dengan persamaan sebagai berikut:

$$Y_r = \frac{V \cdot (\delta_f + \alpha_r^o - \alpha_f^o)}{a+b} \quad (2.45)$$

$$Y_r = \frac{V}{R_n} \quad (2.46)$$

Kendaraan dikatakan *oversteer*, jika : $R_o < R_u$
 $Y_o > Y_u$

Kendaraan dikatakan *understeer*, jika : $R_u > R_o$
 $Y_u < Y_o$

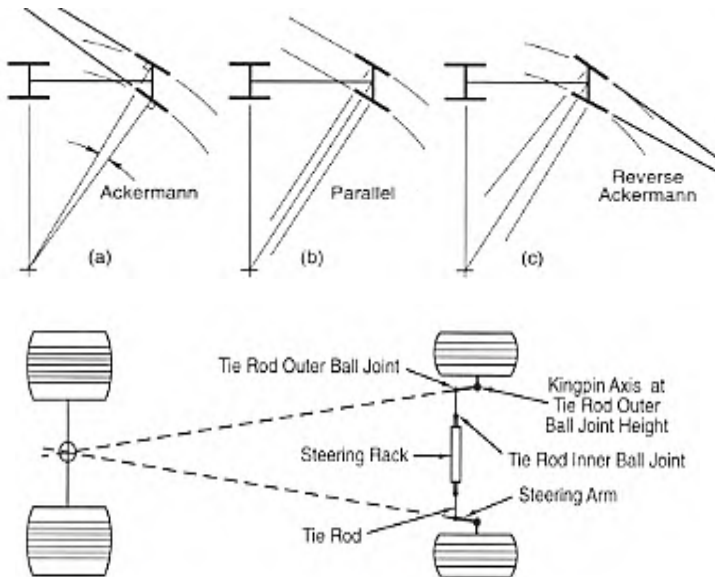
2.4 Teori *steering system*

2.4.1 *Ackermann steering geometry*

Pada roda depan kendaraan yang mengarahkan dari posisi lurus ke depan, desain mekanisme kemudi akan menentukan apakah roda tetap paralel atau jika tidak ada satu roda mengarahkan lebih dari yang lain. Perbedaan sudut *steer* pada roda kiri dan kanan tidak harus dipermasalahkan oleh *toe-in* atau *toe-out* yang melalui penyesuaian statis dan menambah efek geometris *Ackermann*.

Untuk *low lateral acceleration* biasa menggunakan *Ackermann* geometri. Geometri ini menegaskan bahwa semua roda berputar tanpa sudut slip karena roda dapat dikendalikan sesuai pusat putar kendaraan. Dengan catatan pada kecepatan rendah semua roda berada di radius yang berbeda secara signifikan, roda depan dalam harus mengarahkan lebih dari roda depan luar.

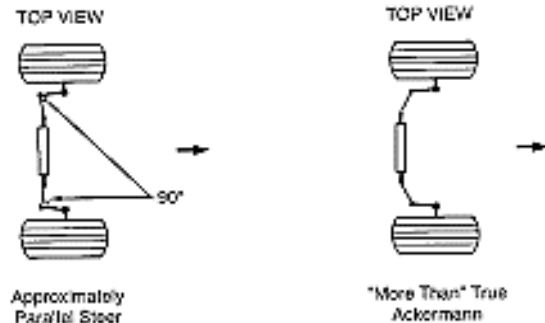
Sedangkan pada *high lateral acceleration*, semua ban bekerja pada sudut slip yang signifikan dan beban pada bagian dalam lebih kecil daripada bagian luar. Jika dilihat dari performa ban, terlihat bahwa dengan sudut slip yang kecil diperlukan beban yang kecil untuk mencapai puncak kekuatan menikung. Jika kendaraan berada pada kecepatan rendah (*Ackermann*), roda depan dalam dipaksa ke sudut slip lebih tinggi dari yang dibutuhkan untuk tenaga sisi maksimum. Dalam balapan, biasa digunakan *parallel steering* atau *reverse Ackermann*.



Gambar 2.19 Ackermann steering geometry (Milliken, William F. dan Milliken, Douglas, 1911)^[6]

Kebanyakan tikungan dalam balapan memiliki radius yang besar dan efek *Ackermann* juga sangat kecil. Kenyataannya, kecuali sistem kemudi dan suspensi yang sangat kaku, defleksi saat beban menikung mungkin mengarahkan roda lebih dari *Ackermann*.

Konstruksi sederhana untuk mencapai *Ackermann* geometri pada mobil penggerak roda belakang dapat ditunjukkan pada gambar di bawah ini.



Gambar 2.20 Modifikasi steering geometry (Milliken, William F. dan Milliken, Douglas, 1911)^[6]

Rack dilokasikan di belakang poros depan dan sejajar mulai dari *kingpin axis*, terhubung dengan *tie rod ends* terluar, memotong pusat dari poros belakang. Kekakuan dari *knuckle* kemudi akan menyebabkan roda terdalam untuk dikendalikan lebih dari roda terluar dan pendekatan yang baik dari “*perfect Ackermann*” akan tercapai.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB III

METODOLOGI

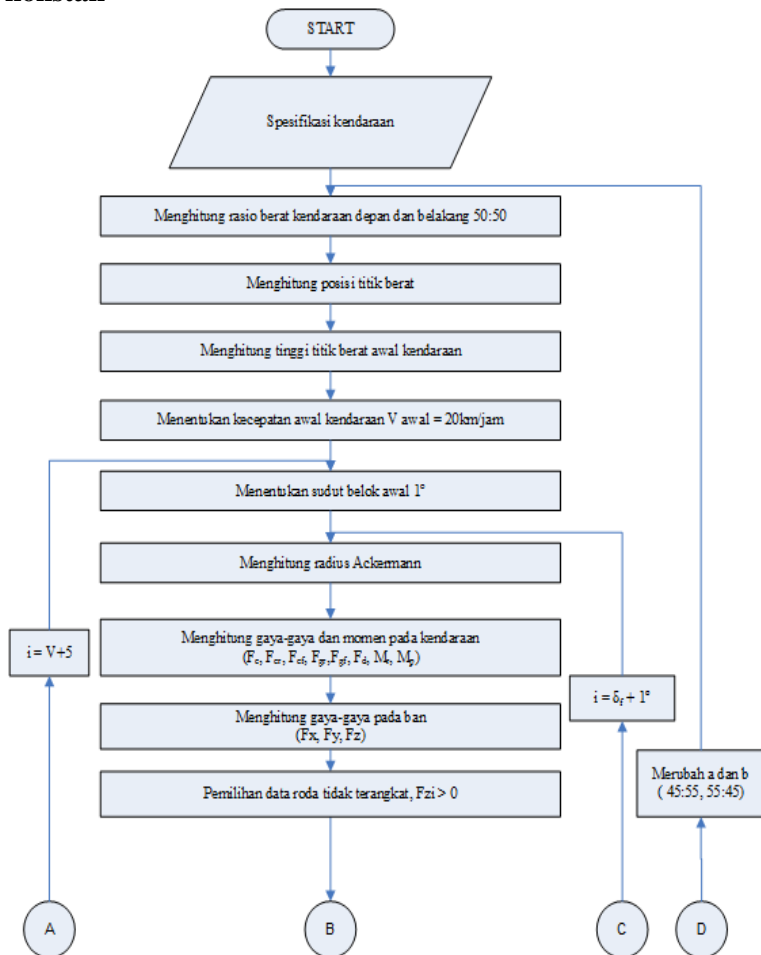
3.1. Prosedur Penelitian

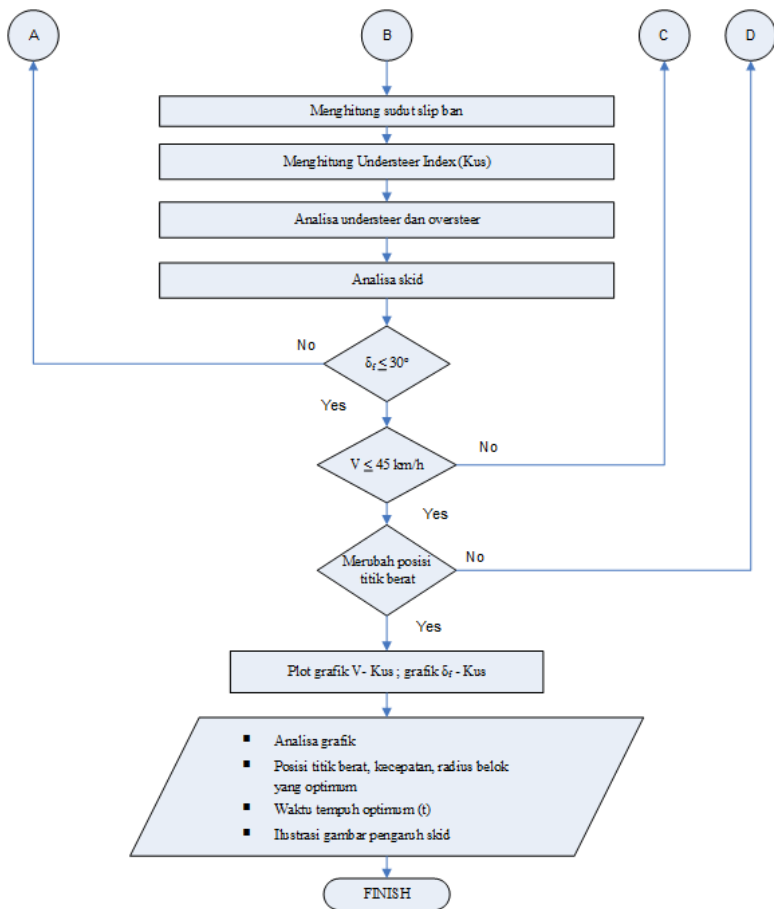
Pada penulisan tugas akhir ini, prosedur penelitian dilakukan dengan beberapa tahapan yang akan dilakukan sebagai berikut :

1. Tahap pertama, melakukan analisa-analisa dengan sumber studi literatur terhadap buku, jurnal dan penelitian terdahulu tentang kestabilan arah kendaraan.
2. Tahap kedua, menentukan objek mobil yang akan diteliti, dalam hal ini mobil yang akan diteliti adalah mobil *Sapuangin Speed 3* yang berkompetisi pada *Student Formula Japan 2015*.
3. Tahap ketiga, setelah didapat rancangan dan spesifikasi data dari mobil *Sapuangin Speed 3* dilakukan analisa kestabilan arah pada variasi posisi titik berat kendaraan (pada posisi 50:50 (tepat di tengah), 45:55 (bergeser ke kiri) dan 55:45 (bergeser ke kanan)).
4. Tahap keempat, dilakukan analisa kestabilan arah. Analisa kestabilan arah yang dilakukan berdasarkan variasi posisi titik berat pada *dynamic test* pada kompetisi *Student Formula Japan 2015* khususnya di lintasan *skid pad*. Analisa tersebut untuk mengetahui apakah kendaraan mengalami skid atau guling. Dari analisa tersebut juga dapat mengetahui radius belok dan kecepatan optimum yang digunakan serta mengetahui waktu tercepat.
5. Tahap kelima, dilakukan analisa terhadap sudut belok yang mampu dicapai kendaraan agar mencapai kondisi ideal (*Ackermann*).

3.2. Flowchart

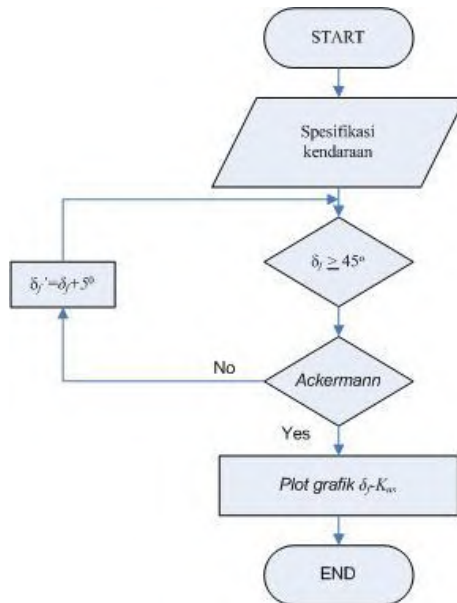
3.2.1. Kestabilan arah pada lintasan melingkar dengan radius konstan





Gambar 3.1 Flowchart perhitungan kestabilan arah lintasan melingkar pada R konstan

3.2.2. Kestabilan arah pada kondisi *Ackermann*



Gambar 3.2 Flowchart perhitungan sudut belok pada kondisi *Ackermann*

3.3. Prosedur Perhitungan

Langkah-langkah yang perlu dilakukan dalam perhitungan stabilitas kendaraan *Sapuanjin Speed 3* adalah sebagai berikut:

- Langkah awal dari penelitian ini adalah mencari data-data dari spesifikasi kendaraan yang digunakan sebagai data input. Data-data spesifikasi yang dibutuhkan adalah lokasi *center of gravity*, *rolling resistance* dan koefisien *drag*, dan luas dari sisi frontal. Kemudian menentukan radius lintasan.
- Menentukan kecepatan awal kendaraan sebesar 20 km/jam.
- Menghitung radius *Ackermann* dan radius nyata

$$R_{ack} = \frac{a + b}{\delta_f} 57,29$$

$$R_n = \frac{a + b}{\delta_f + \alpha_r - \alpha_f} 57,29$$

- Menghitung posisi titik berat kendaraan.

$$a = \frac{(a+b)Wr}{Wf+Wr} \quad b = \frac{(a+b)Wf}{Wf+Wr}$$

- Menghitung tinggi titik berat awal kendaraan (h)

$$hr = \frac{W'f(a+b) - W.b}{W \tan \theta}$$

$$h = r + hr$$

- Menentukan perubahan *center of gravity* (50:50, 45:55, 55:45)
- Menghitung sudut side slip (β)

$$\beta = \arcsin\left(\frac{b}{R_{ack}}\right)$$

- h. Menghitung gaya dan momen yang ada pada kendaraan saat melakukan gerakan belok (F_{cf} , F_{cr} , F_d , M_r , M_p).
- i. Menghitung gaya reaksi yang diterima oleh tiap-tiap ban pada arah sumbu x,y dan z.
- j. Melakukan analisa guling, jika $F_z < 0$, maka roda terangkat.
- k. Menghitung sudut slip tiap ban (α_1 ; α_2 ; α_3 ; α_4). Sudut slip pada ban roda depan sebelah kiri dan sebelah kanan ($\frac{\alpha_2 + \alpha_3}{2}$). Begitu juga dengan sudut slip roda belakang ($\frac{\alpha_1 + \alpha_4}{2}$).
- l. Menghitung besarnya *Understeer Index* (K_{us})

$$K_{us} = (\alpha_f - \alpha_r) \frac{g.R}{V^2}$$

- m. Analisis kondisi kendaraan apakah mengalami *understeer* atau *oversteer*.
- n. Analisa kondisi kendaraan apakah mengalami *understeer* atau *oversteer* akibat skid.

$$Y_r = \frac{V}{R_n}$$

- o. Plot grafik K_{us} – radius serta menganalisa grafik.
- p. Analisa pada lintasan *skid-pad* dan menentukan waktu tempuh tercepat pada lintasan *skid-pad*.
- q. Menghitung sudut belok roda depan agar dapat mencapai kondisi *Ackermann*.
- r. Plot grafik δ_{kanan} – δ_{kiri} dan analisa grafik.

BAB IV

ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Spesifikasi dan Data Kendaraan

Kendaraan formula Sapuangen *Speed 3* dirancang untuk kapasitas 1 penumpang yang digunakan pada kompetisi *Student Formula Japan 2015*. Kendaraan formula ini dirancang dengan 4 roda berpengerak roda belakang yang memiliki kapasitas mesin 450 cc. Adapun desain mobil formula Sapuangen *Speed 3* ditunjukkan pada gambar 4.1 berikut.



Gambar 4.1 Desain mobil formula *Sapuangen Speed 3* dengan 1 penumpang

Dari perencanaan ini akan didapatkan spesifikasi kendaraan berdasarkan gambar desain yang telah dirancang oleh ITS Team Sapuangen yang diharapkan sesuai dengan tujuan. Adapun spesifikasi kendaraan mobil formula Sapuangen *Speed 3* ditunjukkan oleh tabel 4.1.

Tabel 4.1 Spesifikasi kendaraan mobil formula Sapuangan *Speed*

3

Dimensi	
Track width depan	1257 mm
Track width belakang	1198 mm
Panjang kendaraan	2804 mm
Lebar kendaraan	1442 mm
Tinggi kendaraan	1295 mm
Jarak sumbu roda	1555 mm
Berat	
Massa total berpenumpang	287.5 kg
Berat total berpenumpang	2820.38 N
Koefisien suspensi	25410 N/m
Titik berat	
Titik Berat Awal (47.4% : 52.6%)	
Tinggi CG	0.3 m
Wf	1471.5 N
Wr	1339.065 N
Posisi 50% : 50%	
Wf	1410.187 N
Wr	1410.187 N
Posisi 45% : 55%	
Wf	1551.2 N
Wr	1269.168 N
Posisi 55% : 45%	
Wf	1269.168 N
Wr	1551.2 N
Aerodinamika	
Luas frontal area	0.78 mm ²
Massa jenis angin	1.25 kg/m ³
Koefisien drag	0.58
Ban (Hoosier 20.5x7 R13)	
Jenis ban	Radial gundul
Diameter roda	20.5 inch

Lebar roda	7 inch
Koefisien adhesi jalan	0.9

Adapun rancangan variasi titik berat yang akan diuji ditunjukkan oleh tabel 4.2 sebagai berikut.

Tabel 4.2 Rancangan variasi posisi titik berat mobil formula Sapuangin *Speed 3*.

Variasi Posisi Titik Berat			
Posisi Titik Berat	50% : 50%	45% : 55%	55% : 45%
	Terletak di tengah	Bergeser ke depan	Bergeser ke belakang
A	0.7775 m	0.69925 m	0.85525 m
B	0.7775 m	0.85525 m	0.69925 m

Keterangan : a : jarak dari pusat berat ke sumbu roda depan
b : jarak dari pusat berat ke sumbu roda belakang

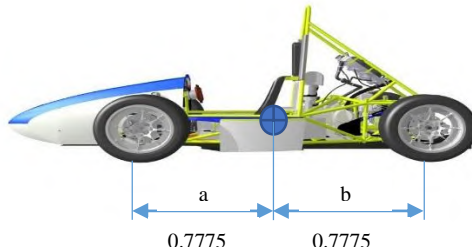
4.2 Analisa Perilaku Arah Kendaraan

4.2.1 Contoh perhitungan perilaku arah kendaraan

Pada contoh perhitungan kali ini, data yang digunakan sebagai dasar dalam perhitungan ini adalah posisi titik berat 1 yaitu 50% : 50% yang terletak di tengah dengan kondisi bergerak pada kecepatan 40 km/jam dengan sudut belok sebesar 10° dengan massa total 287.5 kg.

4.2.1.1 Perhitungan posisi pusat titik berat

Pada perhitungan ini menggunakan posisi titik berat 50% : 50%, dimana posisi titik berat ini terletak di tengah. Berikut ini dapat dilihat rancangan posisi titik berat 50% : 50 % pada mobil formula Sapuangin *Speed 3* seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.2.



Gambar 4.2 Rancangan titik berat mobil Sapuangin *Speed 3* dengan variasi titik berat 50 : 50

Dalam analisa kendaraan formula *Sapuangin Speed 3*, untuk mengetahui perbandingan antara berat depan dan berat belakang kendaraan maka perlu dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut :

Massa total = 287.5 kg ; L = 1555 mm ; a = 777.5 mm ; b = 777.5 mm ; W = 2820.375 N ; h = 0.3 m

Posisi longitudinal

$$\Sigma M = 0$$

$$W \cdot a - W_r(a + b) = 0$$

$$W \cdot a = W_r(a + b)$$

$$W_r = \frac{W \cdot a}{(a + b)}$$

$$W_r = \frac{2820.375 \text{ N} \cdot 0.7775 \text{ m}}{1.555 \text{ m}}$$

$$W_r = 1410.187 \text{ N}$$

$$W = W_f + W_r$$

$$W_f = 2820.375 \text{ N} - 1410.187$$

$$W_f = 1410.187 \text{ N}$$

4.2.1.2 Menghitung radius *Ackermann* (R_{ack}) dan sudut *side slip* (β)

Dalam menghitung besarnya nilai radius *Ackermann* (R_{ack}) yaitu untuk mengetahui radius ideal yang dapat ditempuh kendaraan dengan sudut belok tertentu, maka dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut.

$$R_{ack} = \frac{a + b}{\delta_f} 57.29$$

$$R_{ack} = \frac{0.7775 \text{ m} + 0.7775 \text{ m}}{10^\circ} 57.29$$

$$R_{ack} = 8.9086 \text{ m}$$

Sedangkan dalam menghitung sudut *side slip* (β) diperlukan untuk mengetahui sudut yang dibentuk kendaraan pada saat belok terhadap arah gerak mobil. Sudut *side slip* diperlukan untuk mengetahui gaya centrifugal pada kendaraan.

$$\beta = \arcsin \frac{b}{R_{ack}}$$

$$\beta = \arcsin \frac{0.7775 \text{ m}}{8.9086 \text{ m}}$$

$$\beta = 5.0036^\circ$$

4.2.1.3 Mencari gaya sentrifugal (F_c)

Pada saat kendaraan melakukan berbelok, kendaraan tersebut memiliki gaya centrifugal yang cenderung menjauhi dari pusat putar kendaraan. Maka dari itu dilakukan perhitungan gaya centrifugal pada kendaraan *Sapuangin Speed 3* untuk mengetahui gaya centrifugal pada roda depan dan belakang.

$$V = 40 \frac{km}{jam}$$

$$V = \frac{40 km}{1 jam} \cdot \frac{1 jam}{3600 s} \cdot \frac{1000 m}{1 s}$$

$$V = 11.11 \frac{m}{s}$$

$$F_c = \frac{mv^2}{R_{ack}}$$

$$F_c = \frac{287.5 kg \cdot \left(11.11 \frac{m}{s}\right)^2}{8.9086 m}$$

$$F_c = 3983.4 N$$

Sedangkan untuk menghitung besarnya gaya sentrifugal pada roda depan dan roda belakang dapat dihitung menggunakan persamaan berikut.

Pada roda depan (roda 2 dan 3)

$$F_{cf} = \frac{b}{a+b} F_c \cos \beta$$

$$F_{cf} = \frac{0.7775 m}{1.555 m} 3983.4 \cos 5.0036^\circ$$

$$F_{cf} = 1982.8 \text{ N}$$

Pada roda belakang (roda 1 dan 4)

$$F_{cr} = \frac{a}{a+b} F_c \cos \beta$$

$$F_{cr} = \frac{0.7775 \text{ m}}{1.555 \text{ m}} 3983.4 \cos 5.0036^\circ$$

$$F_{cf} = 1982.8 \text{ N}$$

4.2.1.4 Gaya hambat angin (*drag force*)

Pengaruh aerodinamika saat kendaraan bergerak sangat berpengaruh besar terhadap performa kendaraan terutama gaya hambat angin (F_d). Gaya hambat angin yaitu gaya yang mampu memberi tahanan saat kendaraan bergerak. Gaya hambat angin sangat diperlukan untuk mengetahui gaya gesek pada kendaraan. Dalam menentukan gaya hambat angin (*drag force*) yang diterima dapat menggunakan persamaan sebagai berikut.

$$F_d = \frac{1}{2} \cdot C_d \cdot \rho \cdot V_a^2 \cdot A_f$$

Dimana	C_d	=	<i>coefficient of drag</i> = 0.58
	ρ	=	densitas udara = 1.25 kg/m ³
	V_a	=	kecepatan angin yang dianggap relatif terhadap kecepatan kendaraan (m/s)
	A_f	=	luas frontal area (m ²)

$$F_d = \frac{1}{2} \cdot C_d \cdot \rho \cdot V_a^2 \cdot A_f$$

$$F_d = \frac{1}{2} \cdot 0.58 \cdot 1.25 \frac{kg}{m^3} \cdot \left(11.11 \frac{m}{s}\right)^2 \cdot 0.78 m^2$$

$$F_d = 34.9 N$$

4.2.1.5 Gaya gesek pada roda depan dan roda belakang (F_{gf} dan F_{gr})

Gaya gesek sangat diperlukan untuk mengetahui kendaraan terjadinya skid. Untuk menghitung gaya gesek pada roda depan dan roda belakang dapat menggunakan persamaan sebagai berikut.

Pada roda depan (roda 2 dan 3)

$$F_{gf} = \mu \cdot F_{zf}$$

$$F_{gf} = 0,9 \cdot (1,7823 + 1374,3)$$

$$F_{gf} = 1376,1 N$$

Pada roda belakang (roda 1 dan 4)

$$F_{gr} = \mu \cdot F_{zr}$$

$$F_{gr} = 0,9 \cdot (27,16 + 1303,559)$$

$$F_{gr} = 1330,7 N$$

4.2.1.6 Mengukur sudut guling (γ) dan momen pitching (ψ)

Sudut Guling / Rolling

Pada kondisi belok kendaraan akan mengalami sudut guling. Sudut guling sangat penting untuk dianalisa untuk mengetahui roda terangkat agar kendaraan tidak mengalami guling. Untuk menentukan besarnya sudut guling dapat menggunakan persamaan sebagai berikut.

$$M_{rf} = M_{sf}$$

$$\begin{aligned} \frac{b}{a+b} F_c \cos \beta \cdot r_c + W \cdot r_c \cdot \gamma &= k_{sf} \cdot \frac{b_f^2}{2} \cdot \gamma \\ \frac{0.7775 \text{ m}}{0.7775 \text{ m} + 0.7775 \text{ m}} \cdot 3968.2 \text{ N} \cdot 0.0841 \text{ m} \\ &+ 2820.375 \text{ N} \cdot 0.0841 \text{ m} \cdot \gamma \\ &= 25410 \frac{\text{N}}{\text{m}} \cdot \frac{0.644487^2}{2} \cdot \gamma \end{aligned}$$

$$\gamma = 0.0324^\circ$$

Sudut Angguk / Pitching

Pada kondisi kendaraan sedang berakselerasi kendaraan akan mengalami sudut angguk. Sudut angguk dianalisa untuk mengetahui gaya normal pada roda. Untuk menentukan besarnya sudut guling dapat menggunakan persamaan sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \psi &= \frac{(F_c \sin \beta - F_d) r_c}{(2 \cdot k \cdot b^2 + 2 \cdot k \cdot a^2) - W \cdot r_c} \\ \psi &= \frac{(347.43 \text{ N} - 34.9 \text{ N}) 0.0841 \text{ m}}{\left(2 \cdot 25410 \frac{\text{N}}{\text{m}} \cdot 0.7775^2 \text{ m} + 2 \cdot 25410 \frac{\text{N}}{\text{m}} \cdot 0.7775^2 \text{ m} \right) - 2820.375 \text{ N} \cdot 0.0841 \text{ m}} \end{aligned}$$

$$\psi = 0.0004^\circ$$

4.2.1.7 Gaya normal (F_z)

Analisa gaya normal pada setiap roda diperlukan untuk mengetahui roda terangkat serta sudut slip pada ban.

Gaya normal pada roda 1 (roda kiri belakang)

Untuk menentukan gaya normal pada roda 1 (F_{z1}) dapat menggunakan persamaan sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 F_{z_1} &= \frac{W_r}{2} - \frac{\frac{a}{a+b} (F_c \cos \beta h_r)}{t_r} - \frac{\frac{a}{a+b} (F_c \cos \beta r_c + W \cdot r_c \cdot \gamma)}{t_r} \\
 F_{z_1} &= \frac{1410.187 \text{ N}}{2} - \frac{\frac{0.7775 \text{ m}}{1.555 \text{ m}} (3968.2 \text{ N} \cdot 0.3 \text{ m})}{1.198 \text{ m}} \\
 &\quad - \frac{\frac{0.7775 \text{ m}}{1.555 \text{ m}} (3968.2 \text{ N} \cdot 0.0841 \text{ m} + 2820.375 \text{ N} \cdot 0.0841 \text{ m} \cdot 0.0297)}{1.198 \text{ m}}
 \end{aligned}$$

$$F_{z_1} = 27,166 \text{ N}$$

Gaya normal pada roda 2 (roda kiri depan)

Sedangkan untuk menentukan gaya normal pada roda 2 (F_{z_2}) dapat menggunakan persamaan sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 F_{z_2} &= \frac{W_f}{2} - \frac{\frac{b}{a+b} (F_c \cos \beta h_f)}{t_f} - \frac{\frac{b}{a+b} (F_c \cos \beta r_c + W \cdot r_c \cdot \gamma)}{t_f} \\
 F_{z_2} &= \frac{1410.187 \text{ N}}{2} - \frac{\frac{0.7775 \text{ m}}{1.555 \text{ m}} (3968.2 \text{ N} \cdot 0.3 \text{ m})}{1.257 \text{ m}} \\
 &\quad - \frac{\frac{0.7775 \text{ m}}{1.555 \text{ m}} (3968.2 \text{ N} \cdot 0.0841 \text{ m} + 2820.375 \text{ N} \cdot 0.0841 \text{ m} \cdot 0.0297)}{1.257 \text{ m}}
 \end{aligned}$$

$$F_{z_2} = 1.7823 \text{ N}$$

Gaya normal pada roda 3 (roda kanan depan)

Untuk menentukan besarnya gaya normal pada roda kanan depan (F_{z_3}) dapat menggunakan persamaan sebagai berikut.

$$F_{z_3} = \frac{W_f}{2} + \frac{\frac{b}{a+b} (F_c \cos \beta h_f)}{t_f} + \frac{\frac{b}{a+b} (F_c \cos \beta r_c + W \cdot r_c \cdot \gamma)}{t_f}$$

$$\begin{aligned}
 F_{z_3} &= \frac{1410.187 \text{ N}}{2} + \frac{\frac{0.7775 \text{ m}}{1.555 \text{ m}} (3968.2 \text{ N} \cdot 0.3 \text{ m})}{1.257 \text{ m}} \\
 &+ \frac{\frac{0.7775 \text{ m}}{1.555 \text{ m}} (3968.2 \text{ N} \cdot 0.0841 \text{ m} + 2820.375 \text{ N} \cdot 0.0841 \text{ m} \cdot 0.0297)}{1.257 \text{ m}}
 \end{aligned}$$

$$F_{z_2} = 1374.3 \text{ N}$$

Gaya normal pada roda 4 (roda kanan belakang)

$$\begin{aligned}
 F_{z_4} &= \frac{W_r}{2} + \frac{\frac{a}{a+b} (F_c \cos \beta h_r)}{t_r} + \frac{\frac{a}{a+b} (F_c \cos \beta r_c + W \cdot r_c \cdot \gamma)}{t_r} \\
 F_{z_4} &= \frac{1410.187 \text{ N}}{2} + \frac{\frac{0.7775 \text{ m}}{1.555 \text{ m}} (3968.2 \text{ N} \cdot 0.3 \text{ m})}{1.198 \text{ m}} \\
 &+ \frac{\frac{0.7775 \text{ m}}{1.555 \text{ m}} (3968.2 \text{ N} \cdot 0.0841 \text{ m} + 2820.375 \text{ N} \cdot 0.0841 \text{ m} \cdot 0.0297)}{1.198 \text{ m}}
 \end{aligned}$$

$$F_{z_4} = 1303.6 \text{ N}$$

4.2.1.8 Gaya Lateral (F_y)

Analisa gaya lateral perlu dianalisa untuk mengetahui gaya centrifugal yang bekerja pada titik berat kendaraan yang diuraikan pada tiap roda dan juga untuk mengetahui pengaruh terhadap sudut slip ban (α).

• Gaya Lateral pada roda 1 dan roda 4 (roda belakang)

Untuk menentukan besarnya gaya lateral pada roda 1 dan roda 4 dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 F_{y_1} &= F_{y_4} = \frac{a}{2(a+b)} F_c \cos \beta \\
 F_{y_1} &= F_{y_4} = \frac{0.7775 \text{ m}}{2(1.555 \text{ m})} \cdot 3968.2 \text{ N} \\
 F_{y_1} &= F_{y_4} = 2397.3 \text{ N}
 \end{aligned}$$

• **Gaya Lateral pada roda 2 dan roda 3 (roda depan)**

Untuk menentukan besarnya gaya lateral pada roda 2 dan roda 3 dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$F_{y_2} = F_{y_3} = \frac{b}{2(a+b)} F_c \cos \beta \cos \delta_f + \frac{b}{2(a+b)} (F_c \sin \beta - F_d) \sin \delta_f$$

$$\begin{aligned} F_{y_2} &= F_{y_3} \\ &= \frac{0.7775 \text{ m}}{2(1.555 \text{ m})} 3968.2 \text{ N} \cos 12^\circ \\ &\quad + \frac{0.7775 \text{ m}}{2(1.555 \text{ m})} (347.43 \text{ N} - 34.9 \text{ N}) \sin 10^\circ \\ F_{y_2} &= F_{y_3} = 2374.4 \text{ N} \end{aligned}$$

4.2.1.9 Gaya Longitudinal (F_x)

Analisa gaya longitudinal perlu dianalisa untuk mengetahui gaya centrifugal yang bekerja pada titik berat kendaraan yang diuraikan pada tiap roda dan juga untuk mengetahui pengaruh terhadap sudut slip ban (α).

• **Gaya longitudinal pada roda 1 dan roda 4 (roda belakang)**

Untuk menentukan besarnya gaya longitudinal pada roda 1 dan 4 dapat menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$F_{x_1} = F_{x_4} = \frac{a}{2(a+b)} (F_c \sin \beta - F_d) - R_{rr}$$

$$F_{x_1} = F_{x_4} = \frac{0.7775 \text{ m}}{2(1.555 \text{ m})} (347.43 \text{ N} - 34.9 \text{ N}) - (0.013 \cdot 2820.374 \text{ N})$$

$$F_{x_1} = F_{x_4} = 59.75 \text{ N}$$

• **Gaya longitudinal pada roda 2 dan roda 3 (roda depan)**

$$F_{x_2} = F_{x_3} = \frac{b}{2(a+b)} (F_c \sin \beta - F_d) \cos \delta_f - \frac{b}{2(a+b)} F_c \cos \beta \sin \delta_f - R_{rf}$$

$$F_{x_2} = F_{x_3} = \frac{0.7775 \text{ m}}{2(1.555 \text{ m})} (347.43 \text{ N} - 34.9 \text{ N}) \cos 10 - \frac{0.7775 \text{ m}}{2(1.555 \text{ m})} 3968.2 \text{ N} \sin 10 - (0.013 \cdot 2820.374 \text{ N})$$

$$F_{x_2} = F_{x_3} = 113.6 \text{ N}$$

4.2.1.10 Sudut slip pada ban

Kendaraan *Sapuanjin Speed 3* yang diteliti pada tugas akhir ini menggunakan ban jenis radial gundul / tanpa alur (*slick*). Pentingnya mengetahui sudut slip pada ban yaitu untuk mengetahui seberapa besar sudut yang dibentuk ban terhadap arah gerak roda yang berpengaruh terhadap *understeer index* (Kus). Untuk menghitung besarnya sudut slip pada setiap ban dapat digunakan persamaan sebagai berikut :

$$\alpha_{rg} = \frac{C_{rb}}{C_{rg}} \cdot \frac{C_{rs}}{C_{rp}} \cdot \frac{C_{rx}}{C_{r0}} [0.087935 (F_y \alpha)^{0.79008} - 0.005277 (F_z)$$

- $C_{rb} = 0.00301003 (F_y \alpha)^{1.207861}$
- $C_{rg} = 0.0023636 (F_y \alpha)^{1.222203}$
- $C_{rp} = 33.5 + 5.30 (P) - 0.0916 (P)^2$

- $C_{rs} = 33.5 + 5.30 (P_s) - 0.0916 (P_s)^2$
- $C_{rx} = \left[\frac{F_y \alpha + 0.107827 (F_x)}{161.1398} \right]^{\frac{1}{0.474998}}$
- $C_{ro} = \left[\frac{F_y \alpha}{161.1398} \right]^{\frac{1}{0.474998}}$

➤ Menghitung C_{rb} pada tiap-tiap roda

Berdasarkan persamaan yang ada di atas, besarnya nilai C_{rb} dapat dihitung pada tiap-tiap ban.

- Pada roda 1 dan roda 4 (roda belakang)

$$C_{rb} = 0.00301003 (F_y \alpha)^{1.207861}$$

$$C_{rb} = 0.00301003 (538.91 \text{ lbf})^{1.207861}$$

$$C_{rb1} = C_{rb4} = 5.996 \text{ lbf}$$
- Pada roda 2 dan roda 3 (roda depan)

$$C_{rb} = 0.00301003 (F_y \alpha)^{1.207861}$$

$$C_{rb} = 0.00301003 (533.77 \text{ lbf})^{1.207861}$$

$$C_{rb2} = C_{rb3} = 5.927 \text{ lbf}$$

➤ Menghitung C_{rg} pada tiap-tiap roda

Berdasarkan persamaan yang ada di atas, besarnya nilai C_{rg} dapat dihitung pada tiap-tiap ban.

- Pada roda 1 dan roda 4 (roda belakang)

$$C_{rg} = 0.0023636 (F_y \alpha)^{1.222203}$$

$$C_{rg} = 0.0023636 (538.91 \text{ lbf})^{1.222203}$$

$$C_{rg1} = C_{rg4} = 5.1528 \text{ lbf}$$
- Pada roda 2 dan roda 3 (roda depan)

$$C_{rg} = 0.0023636 (F_y \alpha)^{1.222203}$$

$$C_{rg} = 0.0023636 (533.77 \text{ lbf})^{1.222203}$$

$$C_{rg2} = C_{rg3} = 5.0928 \text{ lbf}$$

➤ Menghitung C_{rp} , C_{rs} , C_{rx} , C_{ro}

$$C_{rp} = 33.5 + 5.30 (P) - 0.0916 (P)^2$$

$$C_{rp} = 33.5 + 5.30 (18 \text{ psi}) - 0.0916 (18 \text{ psi})^2$$

$$C_{rp} = 99.22 \text{ psi}$$

$$C_{rs} = 33.5 + 5.30 (P_s) - 0.0916 (P_s)^2$$

$$C_{rs} = 33.5 + 5.30 (25 \text{ psi}) - 0.0916 (25 \text{ psi})^2$$

$$C_{rs} = 108.75 \text{ psi}$$

- Menghitung C_{rx} pada roda 1 dan 4 (roda belakang)

$$C_{rx} = \left[\frac{F_{y1} \alpha + 0.107827 (F_{x1})}{161.1398} \right]^{\frac{1}{0.474998}}$$

$$C_{rx} = \left[\frac{538.91 \text{ lbf} + 0.107827 (13.432 \text{ lbf})}{161.1398} \right]^{\frac{1}{0.474998}}$$

$$C_{rx1} = C_{rx4} = 12.629 \text{ lbf}$$

- Menghitung C_{rx} pada roda 2 dan 3 (roda depan)

$$C_{rx} = \left[\frac{F_{y2} \alpha + 0.107827 (F_{x2})}{161.1398} \right]^{\frac{1}{0.474998}}$$

$$C_{rx} = \left[\frac{533.77 \text{ lbf} + 0.107827 (25.536 \text{ lbf})}{161.1398} \right]^{\frac{1}{0.474998}}$$

$$C_{rx2} = C_{rx3} = 12.583 \text{ lbf}$$

- Menghitung C_{ro} pada roda 1 dan 4 (roda belakang)

$$C_{ro} = \left[\frac{F_{y1}\alpha}{161.1398} \right]^{\frac{1}{0.474998}}$$

$$C_{ro} = \left[\frac{538.91 \text{ lbf}}{161.1398} \right]^{\frac{1}{0.474998}}$$

$$C_{ro1} = C_{ro4} = 12.701 \text{ lbf}$$

- Menghitung C_{ro} pada roda 2 dan 3 (roda belakang)

$$C_{ro} = \left[\frac{F_{y2}\alpha}{161.1398} \right]^{\frac{1}{0.474998}}$$

$$C_{ro} = \left[\frac{533.77 \text{ lbf}}{161.1398} \right]^{\frac{1}{0.474998}}$$

$$C_{ro2} = C_{ro3} = 12.447 \text{ lbf}$$

➤ Menghitung α

Berdasarkan persamaan di atas, maka besarnya nilai α dapat dihitung.

- Pada roda 1

$$\alpha_{rg} = \frac{C_{rb}}{C_{rg}} \cdot \frac{C_{rs}}{C_{rp}} \cdot \frac{C_{rx}}{C_{ro}} [0.087935 (F_{y1}\alpha)^{0.79008} - 0.005277 (F_{z1})]$$

$$\alpha_{rg} = \frac{5.996}{5.1528} \cdot \frac{108.75}{99.222} \cdot \frac{12.629}{12.701} [0.087935 (538.91)^{0.79008} - 0.005277 (23.636)]$$

$$\alpha_{rg1} = 16,009$$

- Pada roda 2

$$\alpha_{rg} = \frac{C_{rb}}{C_{rg}} \cdot \frac{C_{rs}}{C_{rp}} \cdot \frac{C_{rx}}{C_{r0}} [0.087935 (F_{y2})^{0.79008} - 0.005277 (F_{z2})]$$

$$\alpha_{rg} = \frac{5.927}{5.0928} \cdot \frac{108.75}{99.222} \cdot \frac{12.583}{12.447} [0.087935 (533.77)^{0.79008} - 0.005277 (0.4007)]$$

$$\alpha_{rg2} = 16.193$$

- Pada roda 3

$$\alpha_{rg} = \frac{C_{rb}}{C_{rg}} \cdot \frac{C_{rs}}{C_{rp}} \cdot \frac{C_{rx}}{C_{r0}} [0.087935 (F_{y3}\alpha)^{0.79008} - 0.005277 (F_{z3})]$$

$$\alpha_{rg} = \frac{5.927}{5.0928} \cdot \frac{108.75}{99.222} \cdot \frac{12.583}{12.447} [0.087935 (533.77)^{0.79008} - 0.005277 (308.94)]$$

$$\alpha_{rg3} = 14.094$$

- Pada roda 4

$$\alpha_{rg} = \frac{C_{rb}}{C_{rg}} \cdot \frac{C_{rs}}{C_{rp}} \cdot \frac{C_{rx}}{C_{r0}} [0.087935 (F_{y4}\alpha)^{0.79008} - 0.005277 (F_{z4})]$$

$$\alpha_{rg} = \frac{5.996}{5.1528} \cdot \frac{108.75}{99.222} \cdot \frac{12.629}{12.701} [0.087935 (538.91)^{0.79008} - 0.005277 (293.04)]$$

$$\alpha_{rg4} = 14.088$$

- Nilai α_f

$$\alpha_f = \frac{\alpha_2 + \alpha_3}{2}$$

$$\alpha_f = \frac{16.193 + 14.094}{2}$$

$$\alpha_f = 15.143^\circ$$

- Nilai α_r

$$\alpha_r = \frac{\alpha_1 + \alpha_4}{2}$$

$$\alpha_r = \frac{16,009 + 14.094}{2}$$

$$\alpha_r = 15,049^\circ$$

4.2.1.11 Menghitung radius belok nyata (R_n)

Radius belok nyata adalah radius yang ditempuh kendaraan saat dikenai sudut slip atau radius aktual. Dalam hal ini radius belok nyata merupakan radius yang didapatkan dari analisa perhitungan yang telah dilakukan untuk simulasi perhitungan waktu di lintasan *skid-pad*. Radius belok nyata dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut.

$$R_n = \frac{a + b}{\delta_f + \alpha_r - \alpha_f} 57.29$$

$$R_n = \frac{1.555 \text{ m}}{10^\circ + 15,049^\circ - 15.143^\circ} 57.29$$

$$R_n = 8,9882 \text{ m}$$

4.2.1.12 Menghitung *understeer index* (Kus)

Understeer index menunjukkan keadaan kendaraan pada saat mengalami *oversteer* dan *understeer* dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan sebagai berikut. Adapula besar nilai Kus adalah (-) maka kendaraan mengalami *oversteer*, sedangkan apabila besar nilai Kus adalah (+) maka kendaraan mengalami *understeer*.

$$Kus = (\alpha_f - \alpha_r) \frac{g \cdot R}{V^2}$$

$$Kus = (15.143^\circ - 15.049^\circ) \frac{9.81 \text{ m/s}^2 \cdot 9.0417 \text{ m}}{11.11^2 \text{ m/s}}$$

$$Kus = 0,0678 \text{ (kendaraan understeer)}$$

4.2.2 Analisa skid

4.2.2.1 Analisa skid pada roda depan

Untuk mengetahui kendaraan mengalami skid, perlu diketahui besarnya F_{cf} dan F_{gf} . Kendaraan akan mengalami skid jika $F_{cf} > F_{gf}$. Berikut ini akan dilakukan analisa pada sudut belok 10° .

Pada perhitungan gaya centrifugal depan (F_{cf}) dan gaya gesek depan (F_{gf}) sebelumnya, diperoleh nilai dari F_{cf} dan F_{gf} sebesar:

$$F_{cf} = 1982,8 \text{ N dan } F_{gf} = 1376,1 \text{ N; maka}$$

$$F_{cf} > F_{gf} \text{ (roda belakang mengalami skid)}$$

4.2.2.2 Analisa skid pada roda belakang

Untuk mengetahui kendaraan mengalami skid, perlu diketahui besarnya F_{cr} dan F_{gr} . Kendaraan akan mengalami skid jika $F_{cr} > F_{gr}$. Berikut ini akan dilakukan analisa pada sudut belok 10°

Pada perhitungan gaya centrifugal belakang (F_{cr}) dan gaya gesek belakang (F_{gr}) sebelumnya, diperoleh nilai dari F_{cr} dan F_{gr} sebesar:

$$F_{cr} = 1982,8 \text{ N dan } F_{gr} = 11130,7 \text{ N; maka}$$

$F_{cf} > F_{gf}$ (roda belakang mengalami skid)

Hasil analisa di atas menunjukkan bahwa kendaraan pada sudut belok 10° sudah mengalami skid sehingga memberikan pengaruh putar (*yaw*) pada kendaraan, maka dari itu perlu dilakukan analisa ulang. Dari perbandingan antara gaya centrifugal dan gaya gesek tersebut, maka dapat diketahui percepatan *yaw* pada kendaraan perlu untuk dianalisa kembali dengan persamaan sebagai berikut :

Percepatan pada roda depan

$$a_f = \frac{(F_{cf} - F_{gf})}{M_f}$$

$$a_f = \frac{(1982.8 \text{ N} - 1376 \text{ N})}{1410,2 \text{ N}}$$

$$a_f = 4,2209 \text{ m/s}^2$$

Percepatan pada roda belakang

$$a_r = \frac{(F_{cr} - F_{gr})}{M_r}$$

$$a_r = \frac{(1982.8 \text{ N} - 1330,7 \text{ N})}{1410.2 \text{ N}}$$

$$a_r = 4,5365 \text{ m/s}^2$$

$a_r > a_f$ (kendaraan mengalami *oversteer*)

Berdasarkan hasil analisa percepatan roda di atas, maka percepatan dan kecepatan *yaw* dapat dihitung dengan persamaan kinematika sebagai berikut.

$$\alpha = \frac{a_r - a_f}{L}$$

$$\alpha = \frac{4,5365 - 4,2209}{1.555}$$

$$\alpha = 0,203^\circ/\text{s}^2$$

Maka, kecepatan *yaw* dapat dihitung

$$\omega_{slip} = \frac{V}{R_n}$$

$$\omega_{slip} = \frac{11.11}{8,9882}$$

$$\omega_{slip} = 1,2361^\circ/\text{s}$$

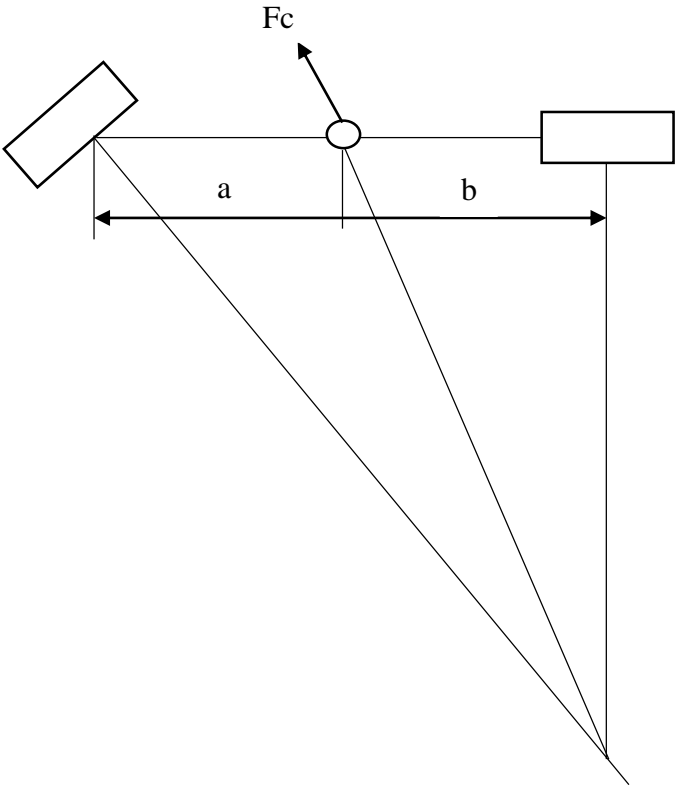
$$\omega_{skid} = \frac{V}{R_n} + \alpha \cdot t$$

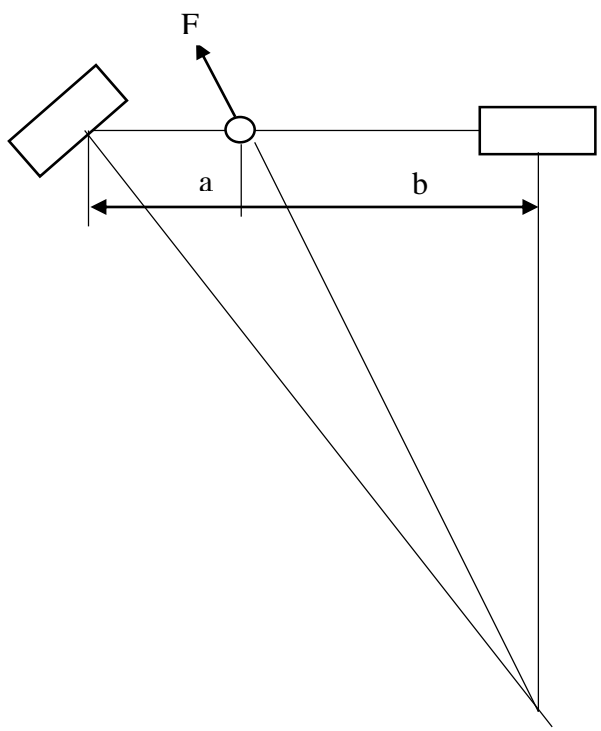
$$\omega_{skid} = \frac{11.11}{8,9882} + 0,203 \cdot 5,0832 \text{ s}$$

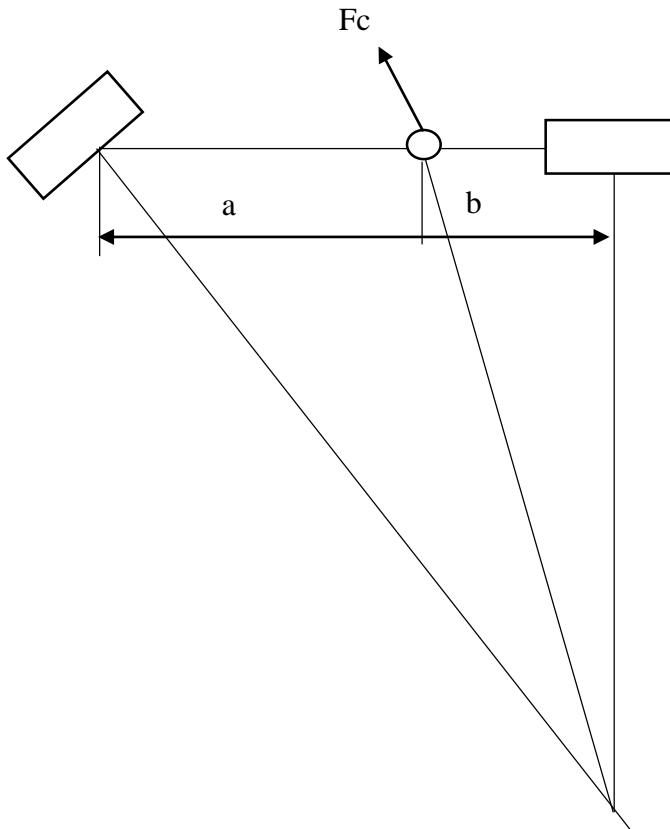
$$\omega_{skid} = 2,2677^\circ/\text{s}$$

4.2.3 Analisa pengaruh posisi titik berat

Pada saat kendaraan berbelok, kendaraan akan dipengaruhi oleh gaya centrifugal yang menyebabkan kendaraan mengalami *oversteer* atau *understeer*. Penjelasan dapat dilihat pada gambar sebagai berikut.







Gambar 4.3 Ilustrasi pengaruh posisi titik berat

Berdasarkan gambar di atas, massa kendaraan tidak berpengaruh terhadap perilaku *understeer* maupun *oversteer*. Seiring dengan meningkatnya massa, maka gaya normal yang terjadi semakin meningkat pula sehingga dapat meningkatkan gaya gesek pada roda. Akan tetapi posisi/jarak titik berat yang mempengaruhi perilaku kendaraan. Gaya centrifugal pada roda

depan semakin besar apabila posisi titik berat semakin ke depan, sebaliknya jika gaya centrifugal pada roda belakang semakin besar apabila posisi titik berat semakin ke belakang.

Seperti yang dapat dilihat, bahwa radius *ackermann* pada posisi titik berat lebih di depan lebih besar dibandingkan posisi titik berat di belakang. Dimana semakin besar radius *ackermann* pada posisi titik berat di depan lebih besar, yang mana menunjukkan keadaan kendaraan mengalami *understeer*. Sedangkan semakin kecil radius *ackermann* pada posisi titik berat di belakang lebih besar, yang mana menunjukkan keadaan kendaraan mengalami *oversteer* dibandingkan radius.

4.2.4 Analisa roda terangkat

Dari analisa perhitungan yang telah dilakukan pada sudut belok 10° , pada masing-masing roda belum terangkat. Dapat diketahui bahwa pada keadaan ini kendaraan masih dianggap aman, karena roda belum mengalami guling.

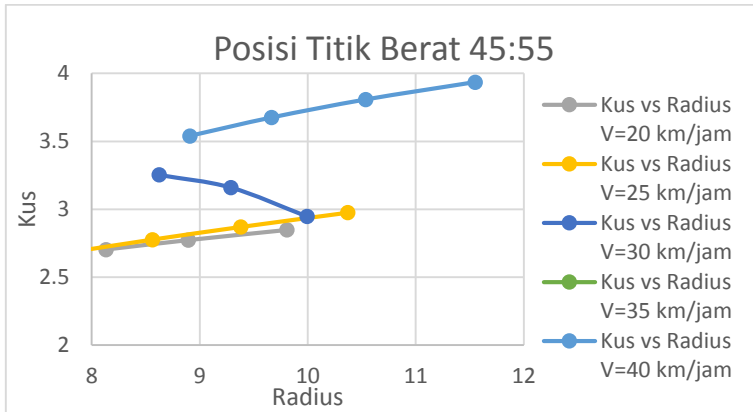
Salah satu penyebab terjadinya guling adalah kekakuan suspensi. Saat kendaraan sedang berbelok, salah satu roda terluar akan menerima gaya normal lebih besar daripada roda terdalam karena kendaraan mengalami momen *rolling*. Apabila kekakuan suspensi tinggi kendaraan akan semakin *rigid* sehingga roda terangkat semakin kecil, namun kendaraan akan semakin mengalami skid. Sedangkan apabila kekakuan suspensi kecil kendaraan akan semakin mudah terangkat pada roda terdalam.

4.2.5 Analisa grafik

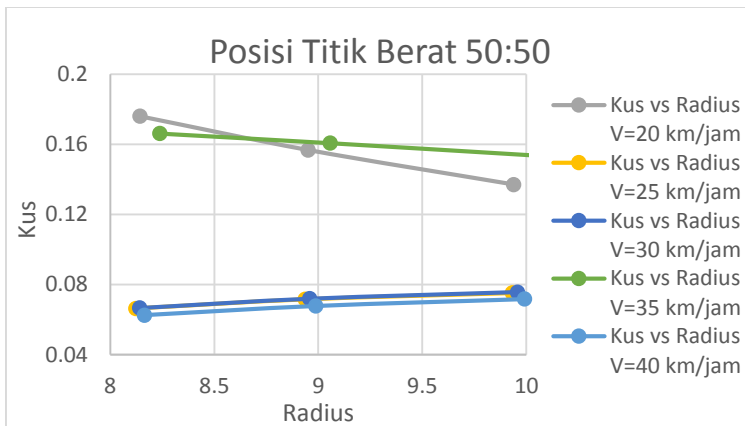
4.2.5.1 Variasi posisi titik berat

Berikut di bawah ini adalah grafik yang menunjukkan perbandingan antara *understeer index* (Kus) dan radius :

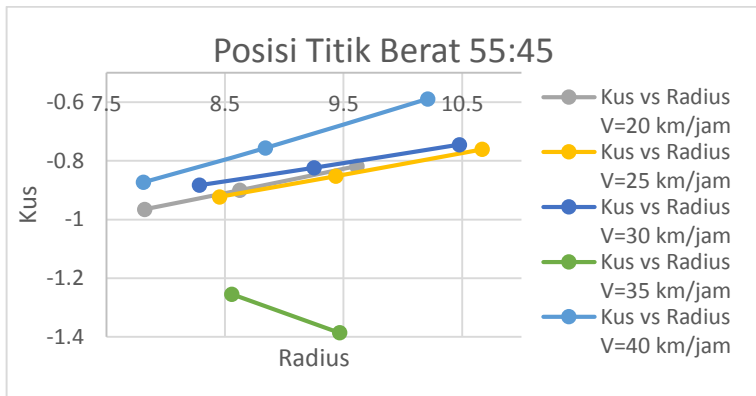
Posisi titik berat 45:55



Posisi titik berat 50:50



Posisi titik berat 55:45



Gambar 4.4 Grafik variasi posisi titik berat antara Kus vs radius

Pada grafik di atas merupakan grafik kurva yang menghubungkan :

- Kus vs Radius pada posisi titik berat 45 : 55
- Kus vs Radius pada posisi titik berat 50 : 50
- Kus vs Radius pada posisi titik berat 55 : 45

Grafik posisi titik berat 45 : 55 menunjukkan hubungan antara *understeer index* (Kus) dengan radius nyata (R_n). Berdasarkan grafik tersebut pada radius nyata yang ditinjau hanya radius sesuai dengan lintasan *skid-pad* sebesar 7,625 m minimum dan 10,625 m maksimum. Pada kecepatan 20 km/jam, sudut belok 10° dan radius 9.757 m kendaraan sudah mengalami *understeer*.

Grafik posisi titik berat 50 : 50 menunjukkan hubungan antara *understeer index* (Kus) dengan radius nyata (R_n). Berdasarkan grafik tersebut pada radius nyata yang ditinjau hanya radius sesuai dengan lintasan *skid-pad* sebesar 7,625 m minimum

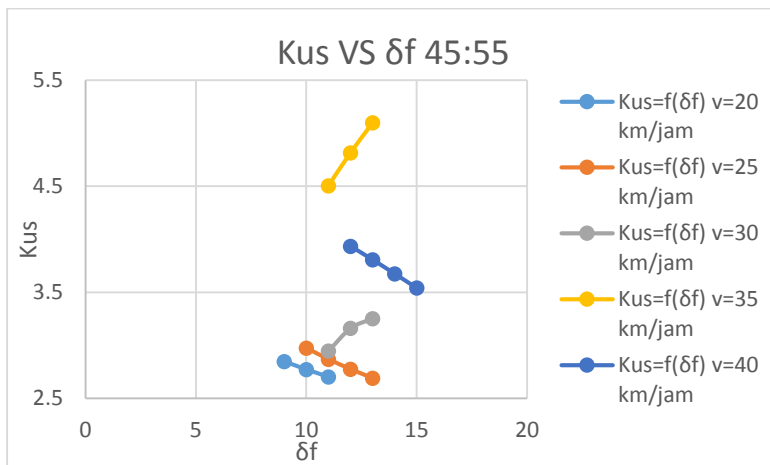
dan 10,625 m maksimum. Pada kecepatan 20 km/jam, sudut belok 9° dan radius 9,844 m kendaraan sudah mengalami *understeer*.

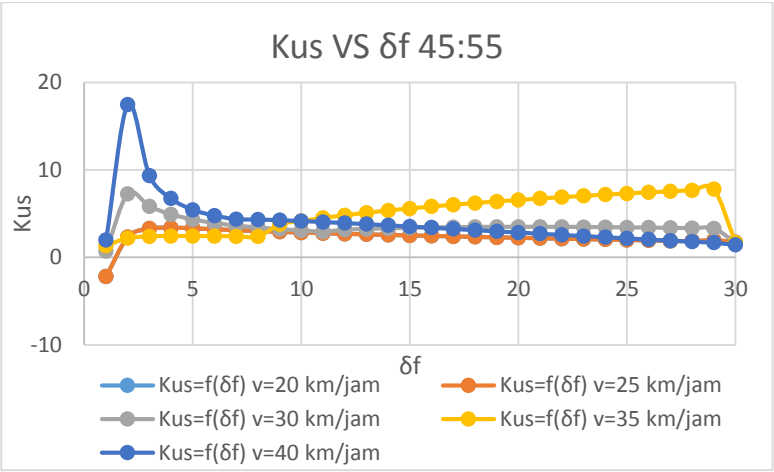
Sedangkan grafik posisi titik berat 55 : 45 menunjukkan hubungan antara *understeer index* (Kus) dengan radius nyata (R_n). Berdasarkan grafik tersebut pada radius nyata yang ditinjau hanya radius sesuai dengan lintasan *skid-pad* sebesar 7,625 m minimum dan 10,625 m maksimum. Pada kecepatan 20 km/jam, sudut belok 9° dan radius 9,5643 m kendaraan sudah mengalami *oversteer*.

Berdasarkan analisa dari ketiga grafik tersebut, posisi titik berat 50 : 50 merupakan posisi titik berat yang optimal. Pada posisi titik berat 50 : 50 memiliki nilai *understeer index* (Kus) yang paling rendah dan kendaraan cenderung mengalami *oversteer*. Sedangkan posisi titik berat 45:55 merupakan posisi titik berat yang kurang optimal karena memiliki nilai Kus yang sangat tinggi dan kendaraan cenderung mengalami *understeer* sehingga kendaran sulit untuk dikendalikan.

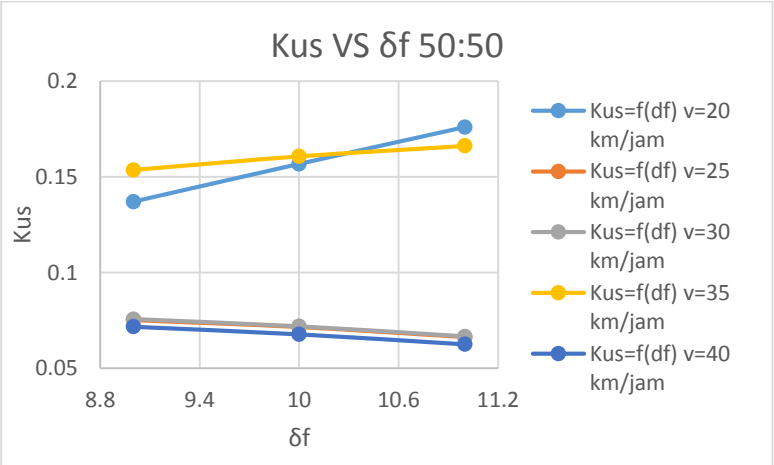
Berikut adalah grafik perbandingan antara *understeer index* (Kus) dan sudut belok (δ_f) :

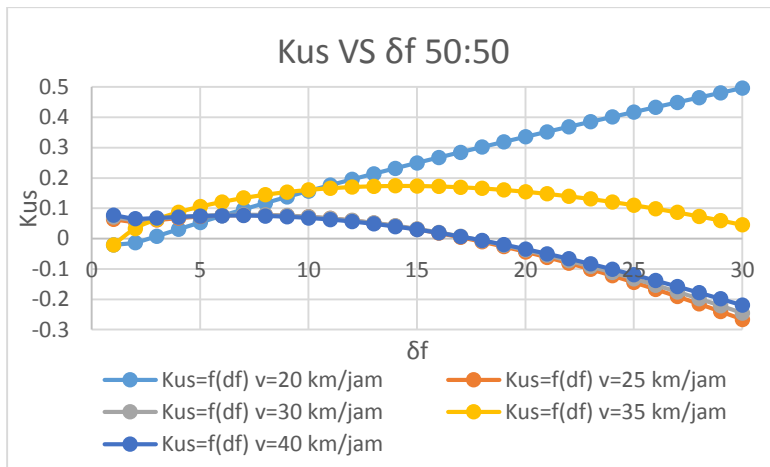
Posisi titik berat 45:55



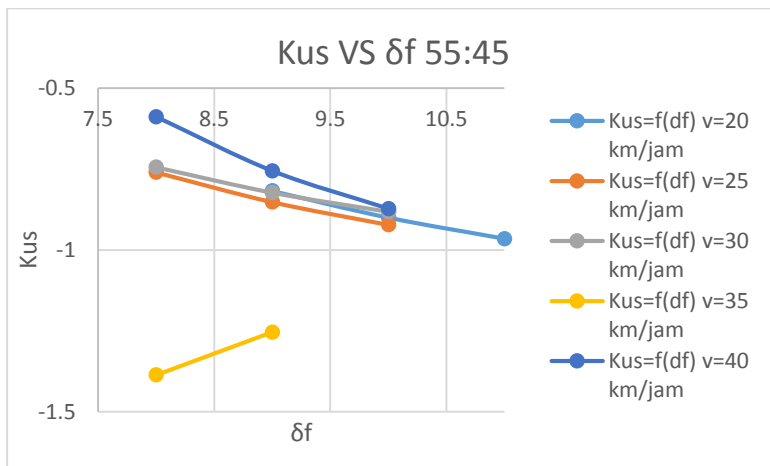


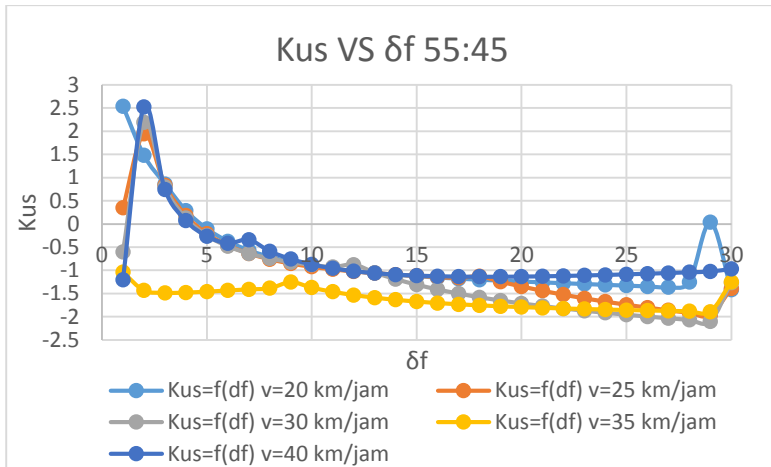
Posisi titik berat 50:50





Posisi titik berat 55:45





Gambar 4.5 Grafik variasi titik berat antara Kus vs sudut belok

Pada grafik di atas merupakan grafik kurva antara:

- Kus vs δ_f pada posisi titik berat 45 : 55
- Kus vs δ_f pada posisi titik berat 50 : 50
- Kus vs δ_f pada posisi titik berat 55 : 45

Grafik posisi titik berat 45 : 55 menunjukkan hubungan antara *understeer index* (Kus) dengan sudut belok (δ_f). Berdasarkan grafik tersebut pada sudut belok yang ditinjau dari radius sesuai dengan lintasan *skid-pad* sebesar 7,625 m minimum dan 10,625 m maksimum dan keseluruhan sudut belok. Pada kecepatan 20 km/jam, sudut belok 10° dan Kus sebesar 2,848 pada radius sesuai dengan lintasan *skid-pad* kendaraan sudah mengalami *understeer*. Sedangkan pada sudut belok 1° dan Kus sebesar -2,14 kendaraan juga sudah mengalami *oversteer*.

Grafik posisi titik berat 50 : 50 menunjukkan hubungan antara *understeer index* (Kus) dengan sudut belok (δ_f).

Berdasarkan grafik tersebut pada radius nyata yang ditinjau hanya radius sesuai dengan lintasan *skid-pad* sebesar 7,625 m minimum dan 10,625 m maksimum. Pada kecepatan 20 km/jam, sudut belok 9° dan Kus sebesar -0,848 pada radius sesuai dengan lintasan *skid-pad* kendaraan sudah mengalami *oversteer*. Sedangkan pada sudut belok 1° dan Kus sebesar 0,1369 kendaraan mengalami *understeer*.

Sedangkan grafik posisi titik berat 55 : 45 menunjukkan hubungan antara *understeer index* (Kus) dengan sudut belok (δ_f). Berdasarkan grafik tersebut pada radius nyata yang ditinjau hanya radius sesuai dengan lintasan *skid-pad* sebesar 7,625 m minimum dan 10,625 m maksimum. Pada kecepatan 20 km/jam, sudut belok 9° dan Kus sebesar -0,848 pada radius sesuai dengan lintasan *skid-pad* kendaraan sudah mengalami *oversteer*. Sedangkan pada sudut belok 1° dan Kus sebesar 2,599 kendaraan mengalami *understeer*.

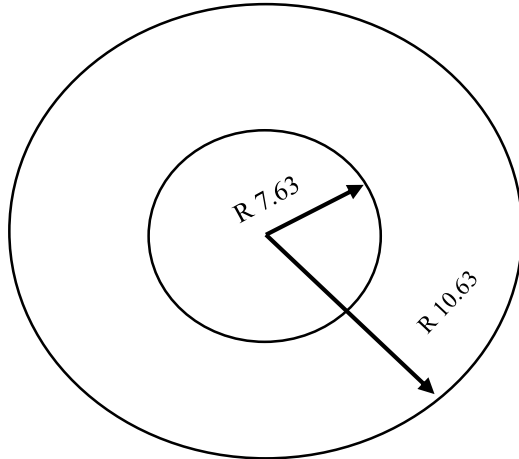
Berdasarkan analisa dari ketiga grafik tersebut, posisi titik berat 50 : 50 merupakan posisi titik berat yang optimal. Pada posisi titik berat 50 : 50 memiliki nilai *understeer index* (Kus) yang paling rendah dan kendaraan cenderung mengalami *understeer*. Sedangkan posisi titik berat 45:55 merupakan posisi titik berat yang kurang optimal karena memiliki nilai Kus yang sangat tinggi dan kendaraan cenderung mengalami *understeer* sehingga kendaraan sulit untuk dikendalikan.

4.3 Analisa Perhitungan Waktu Pada Lintasan *Skid-pad Student Formula Japan*

Sesuai dengan peraturan *SAE International 2014* yang dikeluarkan oleh *Japan Society of Automotive Engineer (JSAE)*, tes dinamik pada kompetisi ini meliputi : *acceleration*, *skid-pad*, *autocross*, *endurance* dan *fuel efficiency*. Simulasi yang digunakan untuk tugas akhir ini yaitu menganalisa pada lintasan *skid-pad*.

4.3.1 Lintasan melingkar dengan radius tetap

Kendaraan formula *Sapuangan Speed 3* melakukan uji jalan pada lintasan melingkar dengan radius tetap. Adapun gambar dari lintasan ini dapat ditunjukkan pada gambar berikut.



Gambar 4.6 Lintasan melingkar dengan radius konstan

Berdasarkan data perhitungan kestabilan arah pada tiap-tiap kecepatan posisi titik berat 50:50, diperoleh hasil sebagai berikut.

Tabel 4.3 Kecepatan, sudut belok dan waktu tempuh pada lintasan dengan radius konstan

V (m/s)	δ_r (°)	Kus	Rn (m)	Keliling (m)	t (s)
5.55	11	0,1759	8,1438	51,228	9,2114
6.94	11	0,0663	8,1231	51,146	7,3501
8.33	11	0,0666	8,1416	51,321	6,1389
9.72	11	0,0648	8,1503	51,445	5,2674
11.11	10	0,0678	8,9882	56,781	5,0832

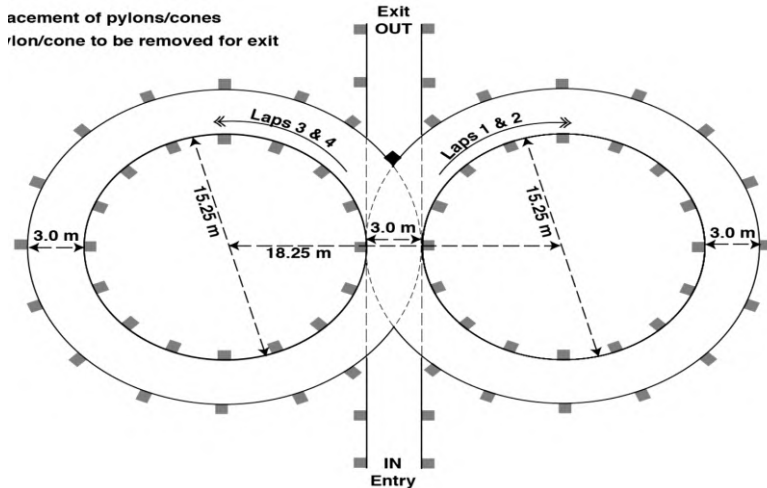
Sesuai dengan tabel di atas, kecepatan dan sudut belok yang optimal untuk menempuh lintasan dengan radius konstan sebesar 8,9882 m adalah kecepatan 11,11 m/s (40 km/jam) dengan sudut belok 10° pada kondisi *understeer*. Sedangkan waktu tempuh untuk menempuh lintasan tersebut adalah 5,0832 s.

Berdasarkan data pada tabel di atas, pada sudut belok 11° kendaraan masih mampu menempuh radius minimal lintasan, namun roda sudah terangkat karena tidak ada reaksi antara gaya normal dan lintasan pada salah satu roda, sehingga tidak bisa ditingkatkan karena tidak aman. Terangkatnya ban mampu meningkatkan guling pada kendaraan dan juga mengurangi gaya gesek yang terjadi pada roda dengan lintasan. Begitu pula ketika kecepatan ditingkatkan, pada kecepatan 12,5 m/s roda telah terangkat pada radius yang sesuai dengan lintasan *skid-pad*. Sedangkan pada kecepatan 11,11 m/s dan sudut belok 10° roda belum terangkat.

4.3.2 Lintasan *skid-pad*

Peserta *Student Formula Japan* akan melakukan percobaan pada lintasan *skid-pad* selama 4 putaran. Lintasan tersebut memiliki radius dalam sebesar 7,625 m dan radius luar sebesar 10,625 m.

Tujuan dari tahap ini untuk mengukur performa belok kendaraan pada lintasan datar dengan radius belok konstan. Adapun gambar dari lintasan *skid-pad* tersebut dapat dilihat berikut ini.



Gambar 4.7 Lintasan skid-pad berdasarkan peraturan *Student Formula Japan*

Berdasarkan data perhitungan kestabilan arah pada tiap-tiap kecepatan posisi titik berat 50:50 dapat diperoleh sebagai berikut.

Tabel 4.4 Kecepatan, sudut belok dan waktu tempuh pada lintasan skid-pad

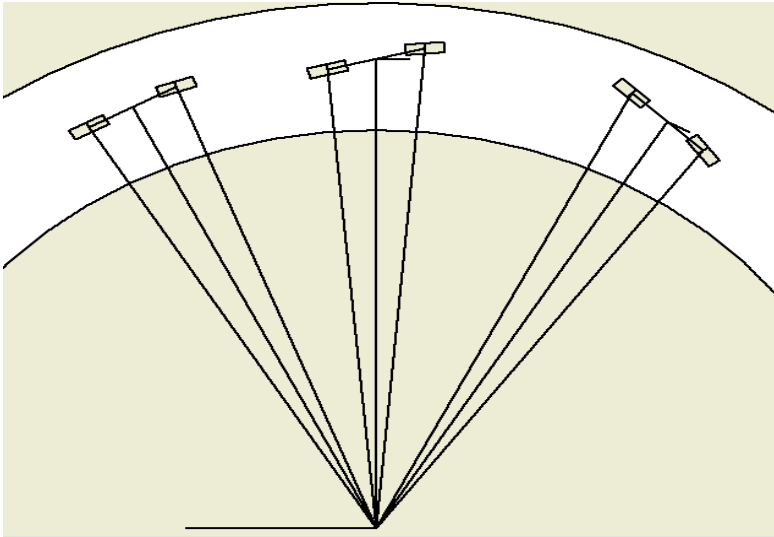
V (m/s)	δf (o)	Rn (m)	Kus	Keliling (m)	Waktu (s)
5.55	9	9.939955	0.136996	62.42291	44.97179
	10	8.952161	0.156713	56.21957	40.50267
	11	8.143841	0.175991	51.14332	36.84555
6.94	9	9.933151	0.075214	62.38019	33.79748
	10	8.93804	0.07156	56.13089	31.21795
	11	8.12314	0.066298	51.01332	29.0066
8.33	9	9.957941	0.075656	62.53587	27.08981

9.72	10	8.959474	0.07188	56.2655	25.41238
	11	8.141597	0.066628	51.12923	23.93209
	9	10.01127	0.111343	62.87077	22.6161
11.11	10	9.01136	0.112607	56.59134	21.43848
	11	8.191936	0.112368	51.44536	20.37849
	9	9.992378	0.071747	62.75214	19.41934
	10	8.988152	0.067782	56.44559	18.54729
	11	8.165039	0.06253	51.27644	17.75098

Sesuai dengan tabel di atas, kendaraan minimal harus dapat berbelok dengan radius 8,988 m yang disesuaikan dengan *track width* kendaraan. Selain itu, kendaraan harus memiliki waktu tempuh yang cepat untuk melintasi lintasan ini. Oleh sebab itu, kecepatan dan sudut belok optimal untuk melewati tes *skid-pad* adalah kecepatan 11,11 m/s (40 km/jam) dengan sudut belok 10°. Total waktu tempuh yang dapat dicapai sebesar 18,47 s.

4.4 Analisa pengaruh skid

Berdasarkan hasil perhitungan analisa skid di atas, kendaraan mengalami *oversteer* karena dipengaruhi oleh skid. Dengan besar nilai percepatan antara roda depan 4,2209 dan roda belakang 4,5365 dapat dikatakan bahwa kendaraan mengalami *oversteer*. Pengaruh antara analisa sebelum analisa skid dan sesudah dikenai akibat skid dapat ditunjukkan dengan gambar sebagai berikut.



Gambar 4.8 Ilustrasi pengaruh *yaw rate* pada kendaraan *oversteer*

Berdasarkan gambar di atas, terlihat bahwa kecepatan sudut kendaraan antara sebelum analisa skid dan sesudah analisa skid terjadi sangat besar sebesar 1,2361 dan 2,2677, sehingga dapat diketahui bahwa kendaraan mengalami kondisi *oversteer*.

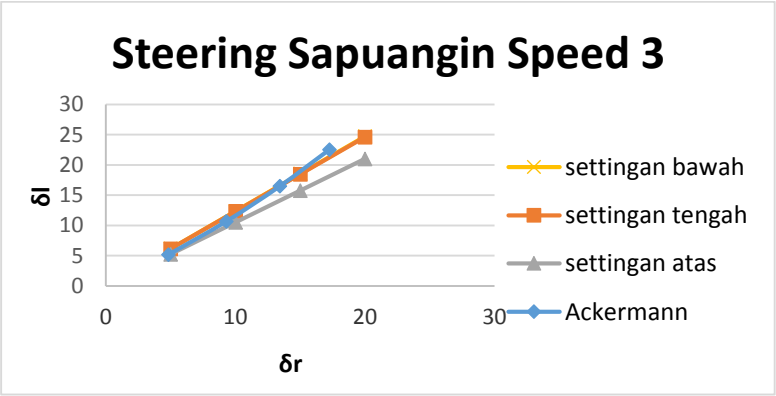
Kondisi *understeer* masih lebih mudah untuk dikendalikan. Kendaraan dengan tipikal *understeer* cenderung susah untuk belok dan memerlukan sudut belok yang lebih besar untuk melakukan belok. Maka dari itu *driver* harus sangat ahli dalam mengendalikan kendaraan karena *driver* harus melakukan koreksi terhadap *steering* dan juga kendaraan harus dibuat menjadi sedikit *oversteer* agar kendaraan bisa mendekati kondisi netral.

4.5 Analisa perilaku kinerja *Ackermann steering*

Berdasarkan hasil pengukuran sudut belok pada kendaraan formula *Sapuangan Speed 3*, maka diperoleh data pada tabel 4.5 sebagai berikut.

Tabel 4.5 Data pengukuran sudut belok pada kendaraan formula *Sapuangan Speed 3*

Setingan bawah		Setingan tengah		Setingan atas		Ackermann	
df kanan	df kiri	df kanan	df kiri	df kanan	df kiri	df kanan	df kiri
5	6.18	5	6.15	5	5.25	4.82	5.17
10	12.36	10	12.3	10	10.5	9.3	10.68
15	18.54	15	18.45	15	15.75	13.43	16.49
20	24.72	20	24.6	20	21	17.25	22.52

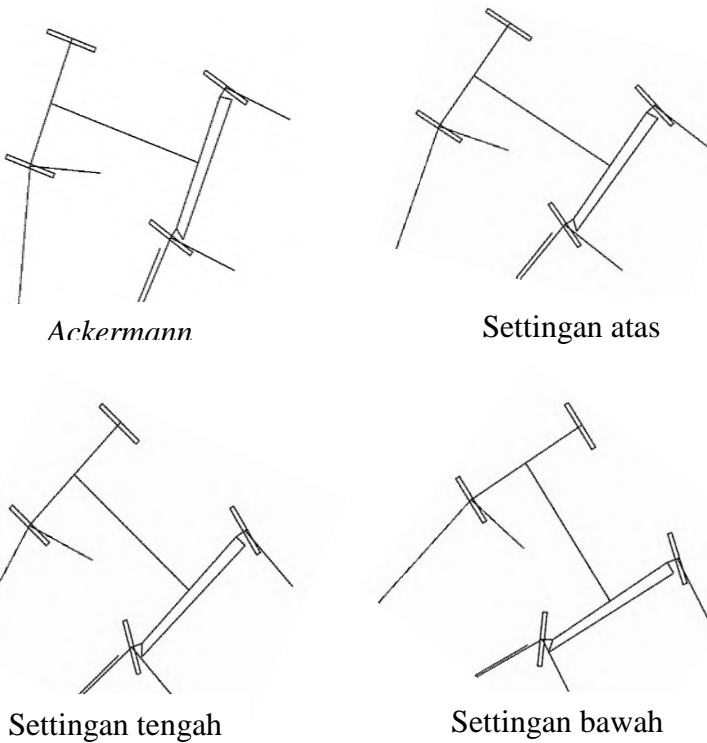


Gambar 4.9 Grafik perbandingan pengaturan *steering Sapuangan Speed 3*

Pada grafik perbandingan pengaturan *steering Sapuangan Speed 3* dapat dilihat bahwa terdapat perbedaan sudut belok. Berdasarkan pengukuran, sudut belok kiri memiliki perbedaan sudut.

Hal ini disebabkan karena konstruksi pada kendaraan dimana sumbu putar kendaraan tidak berada pada pusat sumbu roda belakang. Maka dari itu kendaraan dengan konstruksi yang dirancang settingan bawah mampu memberikan sudut belok yang lebih besar dibandingkan dengan settingan atas dan tengah. Berdasarkan ilustrasi dari gambar di bawah berikut dapat menjelaskan perbedaan sudut belok.

Untuk kendaraan yang lebih mengalami *understeer* lebih cocok menggunakan settingan bawah, dimana roda depan memiliki sudut *toe out* yang lebih besar sehingga mampu memberikan sudut belok lebih besar pada roda bagian dalam agar mampu membantu berbelok mendekati kondisi *Ackermann*. Sedangkan untuk kendaraan yang mengalami *oversteer* lebih cocok menggunakan settingan atas, dimana roda depan memiliki sudut *toe in* sehingga sudut belok roda dalam tidak memberikan sudut belok yang terlalu besar.



Gambar 4.10 Pengaruh setingan pada mobil *Sapuangan Speed 3*

Dari ilustrasi gambar di atas, menunjukkan pengaruh setingan *steering* pada kondisi *oversteer* saat mobil *Sapuangan Speed 3*. Dengan panjang *tie rod* yang sama dalam pengukuran sudut belok, di setiap variasi setingan yang ada mobil *Sapuangan Speed 3* roda depan menunjukkan *toe out*.

Pada setingan atas, sudut belok pada roda dalam lebih besar dibanding *Ackermann*. Semakin ke bawah setingan, maka

semakin besar sudut belok pada roda dalam karena sudut *toe out* pada roda depan semakin besar dan semakin besar pula mobil mengalami *oversteer*. Dengan mengambil settingan atas jika ditinjau dari keadaan mobil *Sapugin Speed 3* yang *oversteer*, settingan ini merupakan settingan yang terbaik agar mobil tidak mengalami *oversteer* yang berlebih.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

LAMPIRAN A

Data perhitungan posisi titik berat

δ_i	R_{ik}	$\epsilon_i \sin \beta$	$\epsilon_i \cos \beta$	$F_{\theta p}$	$F_{\theta f}$	F_d	moment rolling		Moment Pitching		ψ	F_x				F_y						
							M_r	M_p	Y	F_{x1}		F_{x2}	F_{x3}	F_{x4}	F_{y1}	F_{y2}	F_{y3}	F_{y4}				
1	80.0395	0.409733	99.5865	0.85377	99.3086	1.031942	1394.797	8.5974419	0.01594071	0.00802457	-1.1505	10.9338	11.7095	11.74395	11.8385	14.8796	24.8414	24.8796	60.0397	630.318	710.034	721.306
2	44.54295	0.999308	99.1713	3.1471	99.911	1.0412738	173.024	0.0075694	0.01640729	0.01640729	-7.2566	10.0875	11.0465	12.0004	10.8654	47.9323	48.6774	48.7532	67.1808	673.611	734.985	738.056
3	72.95317	1.49855	128.5267	7.81757	128.6547	1.415713	1.402.88	25.640038	2.62331805	0.02039663	-1.1505	8.79985	12.6974	13.8944	10.0277	14.6156	14.5052	74.5055	74.6156	66.6355	793.9875	751.549
4	22.71681	1.99321	308.3236	13.8974	138.1011	1.349.1855	1.449.125	0.24594174	0.00741492	0.03037975	7.1266	7.02355	13.9072	15.6258	8.7039	9.4510	9.3088	9.3088	95.46102	630.348	638.29	760.4316
5	17.8719	2.49827	407.9202	21.7444	407.945	1.315.1587	1.503.801	0.04380254	0.04798921	0.0408576	1.75645	4.8585	15.6032	17.9383	6.94853	12.4307	12.4036	12.4036	124.2837	621.3704	621.724	784.1916
6	14.847658	2.99713	597.5139	31.6809	596.9952	1.375.5813	1.443.714	0.13820074	0.133870074	0.068825	3.1505	2.2875	17.8310	20.3964	4.78212	18.0797	18.8489	18.8489	180.0779	666.205	666.205	801.746
7	12.75654	3.50079	705.092	42.563	703.695	1.485.8517	1.522.407	0.05638072	0.05638072	0.06567808	4.66505	-0.7894	20.0811	23.8379	21.15118	17.8373	17.8373	173.574	173.574	173.574	173.574	
8	11.15734	4.00181	766.862	55.5886	764.425	1.559.662	1.738.888	0.06076322	0.06076322	0.06464064	4.54505	-4.8757	21.1198	26.5161	-0.95548	19.3501	19.3501	19.3501	57.1282	57.1282	57.1282	
9	8.884884	4.50219	866.2708	70.3578	863.5633	1.678.8838	1.838.703	0.10404896	0.10404896	0.0798831	8.48E-05	-8.2015	26.8418	30.7164	-4.46362	23.2207	22.889	22.889	55.5392	55.5392	55.5392	
10	8.98895	5.09644	995.8665	86.8575	992.8641	1.803.7831	1.915.485	0.15546415	0.15546415	0.0809392	0.00007	-12.576	30.8613	35.1585	-8.4937	20.859	20.859	20.859	55.6116	55.6116	55.6116	
11	8.68972	5.50646	1095.442	105.0979	1091.388	1.956.3008	1.922.301	0.21590336	0.21590336	0.0889614	0.00033	-17.3501	34.7415	39.9095	-17.7938	22.4219	22.4219	22.4219	51.7544	51.7544	51.7544	
12	7.42382	6.00748	1254.028	125.0752	1248.464	2.183.6817	2.221.557	0.2497383	0.2497383	0.0983631	0.00016	-22.586	38.6744	45.1248	-17.6158	26.9535	26.9535	26.9535	46.9204	46.9204	46.9204	
13	6.892064	6.55043	1394.133	146.7884	1386.265	2.511.940	1.985.021	0.32154078	0.32154078	0.0940432	0.00019	-38.344	44.3933	50.7538	-22.877	32.1594	32.1594	32.1594	40.7644	40.7644	40.7644	
14	6.38282	7.03707	1594.199	170.2142	1583.765	1.674.0482	1.441.513	0.715981262	0.715981262	0.01128977	0.00022	-34.3642	50.3355	56.8075	-26.5493	34.6751	34.6751	34.6751	46.21397	46.21397	46.21397	
15	5.74085	8.52883	1692.956	197.2437	1693.5918	1.774.971	1.725.067	1.61121979	1.61121979	0.0365627	0.00033	-52.867	60.5507	77.5097	-40.8865	40.8865	40.8865	40.8865	46.21397	46.21397	46.21397	
16	5.59791	9.0844	1931.37	222.3558	1927.779	1.939.9589	1.899.466	1.82557285	1.82557285	0.0287268	0.00024	-47.8561	62.4637	81.8801	-41.7281	39.4311	39.4311	39.4311	44.3397	44.3397	44.3397	
18	4.98794	9.02485	2092.540	261.4191	2093.313	1.947.8898	1.970.076	1.44048127	1.44048127	0.0144334	0.00035	-61.113	76.6128	85.2454	-55.7347	44.1695	44.1695	44.1695	40.2397	40.2397	40.2397	
19	4.68042	9.58635	2092.127	315.5565	2085.966	1.642.306	1.555.235	2.55049163	2.55049163	0.0152383	0.00049	-71.3828	84.5397	95.4028	-62.6211	46.5794	46.5794	46.5794	36.6204	36.6204	36.6204	
20	4.454295	10.0857	1991.713	349.431	1991.768	1.758.3958	1.900.162	1.887760168	1.887760168	0.0160626	0.00046	-80.1102	92.7301	101.982	-71.9455	48.9788	48.9788	48.9788	37.0644	37.0644	37.0644	
21	4.421881	10.5538	2091.299	383.0427	2085.912	1.745.194	1.973.402	3.85457984	3.85457984	0.01677613	0.00051	-89.2634	100.4916	110.946	-80.7081	53.4945	53.4945	53.4945	37.3667	37.3667	37.3667	
22	4.40884	11.0624	2193.084	420.3915	2183.7173	1.403.5607	1.944.705	1.9563538	1.9563538	0.0160626	0.00056	-98.8325	109.512	120.334	-89.988	57.076	57.076	57.076	37.3667	37.3667	37.3667	
23	3.87302	11.2728	2284.47	455.475	2284.97	1.931.6886	1.794.301	5.57670074	5.57670074	0.03073764	0.00078	-118.712	130.125	95.5478	-90.6368	60.6368	60.6368	60.6368	37.3667	37.3667	37.3667	
24	3.711946	12.0826	2390.36	500.3006	2387.106	990.01545	1.833.5	6.62892174	6.62892174	0.0196727	0.00076	-119.388	138.3465	103.387	-109.625	58.8008	58.8008	58.8008	37.3667	37.3667	37.3667	
25	3.55848	12.6884	2497.864	542.8808	2492.736	1.340.0762	1.974.355	7.81021233	7.81021233	0.01982436	0.00075	-120.144	138.354	150.913	-120.144	63.9557	63.9557	63.9557	26.8844	26.8844	26.8844	
26	3.438207	13.0697	2589.227	587.1964	2584.731	1.788.0176	1.933.044	9.6204568	9.6204568	0.02057489	0.00074	-141.566	149.751	181.997	-131.035	63.0379	63.0379	63.0379	26.8844	26.8844	26.8844	
27	3.29496	13.0261	2688.813	630.193	2683.193	1.903.066	1.948.616	10.7025358	10.7025358	0.0212323	0.00083	-153.313	159.5377	173.3003	-141.486	63.1902	63.1902	63.1902	26.8844	26.8844	26.8844	
28	3.195414	14.1539	2788.398	680.947	2780.97	1.553.3323	1.955.229	12.2467659	12.2467659	0.0226654	0.00095	-154.319	170.7651	195.867	-154.319	65.3306	65.3306	65.3306	26.8844	26.8844	26.8844	
29	3.101938	14.6173	2807.984	734.0767	2794.076	1.907.0423	1.981.79	14.3961366	14.3961366	0.02276992	0.00094	-178.174	197.263	197.263	-178.174	66.966	66.966	66.966	26.8844	26.8844	26.8844	
30	2.985517	15.1683	2907.589	781.7197	2893.485	1.838.1569	1.985.446	16.39921562	16.39921562	0.02354545	0.00164	-191.427	203.742	179.297	-203.742	70.4557	70.4557	70.4557	26.8844	26.8844	26.8844	

δ_i	R_{δ_i}	β	ϵ_i	$F_{\sin \beta}$	$F_{\cos \beta}$	F_{θ}	nonredundant		Moment Plotting		ψ	F_{α}				F_{γ}				F_{ϵ}			
							M_r	M_p	ν	F_1		F_2	F_3	F_4	F_1	F_2	F_3	F_4	F_1	F_2	F_3	F_4	
1	0.80859	0.99753	1.55638	1.3575	155.6079	1407.174	1333836	1333836	13.8771576	0.0017	-1.74e-05	0.00217	94.0053	94.0053	93.9359	94.0053	94.0053	681.5702	680.0022	776.8849	771.9899		
2	4.49298	0.99958	311.2276	5.429	311.1802	1408.346	1439.815	1333836	26.7774482	0.0017	0.001847665	0.000539	-1.14e-05	20.3935	22.0437	19.8739	187.8034	187.8034	656.0311	655.5099	753.5985		
3	26.0532	1.499358	466.8413	12.2125	466.6815	1411.364	1407.197	1333836	40.1510313	0.003808	-2e-06	18.6868	24.78652	24.78652	24.78652	281.5255	281.5255	281.9355	620.1287	620.3669	780.8107		
4	127.119	1.999321	622.651	21.716	622.0762	1415.073	1403.534	1333836	53.5204309	0.007579	0.001792719	0.000575	1.11e-05	16.3132	17.15962	16.3132	375.8071	375.8071	603.9229	602.3291	801.531		
5	4.72769	1.499473	778.068	39.3125	777.3287	1419.828	1338386	66.7762042	0.01136697	0.000647	2.48e-05	12.3527	32.0294	32.0294	48.9579	48.9579	48.9579	571.4044	574.8152	828.0449	828.0449		
6	14.87166	1.999743	933.6827	48.861	932.457	1435.497	1393.082	1333836	80.21945937	0.03408258	0.000762	7.95e-05	9.53134	33.9655	33.9655	56.1154	56.1154	56.1154	563.3827	565.8333	835.3476		
7	12.72658	3.50079	1089.266	66.5025	1087.264	1432.262	1386.3	1333836	95.5499564	0.07672041	0.008871	7.72e-05	5.12308	38.3632	38.3632	66.8354	66.8354	66.8354	523.4441	518.3893	882.4561		
8	11.3574	4.99958	1244.91	86.364	1241.976	1448.076	1378.485	1333836	106.8509401	0.010132	0.008641	4.3359	4.3359	4.3359	66.6669	70.7291	70.7291	485.9988	488.9529	885.8025			
9	8.18934	1.50191	1400.524	108.9132	1408.913	1448.913	1369.63	1333836	120.1225435	0.24577954	0.001391	0.000132	-5.72791	41.3075	41.3075	84.7470	84.7470	84.7470	468.7284	468.7284	917.5691		
10	8.06955	3.00646	1556.138	135.725	1550.208	1458.738	1359.778	1333836	133.374004	0.40910778	0.00168	0.000168	-12.707	55.54711	55.54711	96.5075	92.7570	92.7570	985.075	980.289	938.8863		
11	8.06973	1.505468	1711.752	164.2733	1703.855	1469.661	1348.898	1333836	146.591513	0.622416924	0.001301	0.000207	-19.297	62.6294	62.6294	102.9329	102.9329	102.9329	141.9638	140.1087	959.7662		
12	7.42829	0.007149	1867.365	195.444	1857.108	1481.555	1337.108	1338386	157.767518	0.40773591	0.01512	0.00025	70.3837	70.3837	70.3837	112.9192	112.9192	112.9192	393.3937	393.4418	1004.789		
13	6.63765	6.500476	2002.2973	200.9333	2009.933	1494.455	1334.116	1333836	172.9249858	1.27743871	0.016988	0.00027	-35.5867	78.7472	78.7472	-35.5867	124.2436	119.5	124.2436	354.3547	338.3479		
14	6.36282	70.7037	2178.595	266.021	2162.26	1508.32	1310.229	1333836	186.039669	1.74623897	0.01764	0.00047	41.738	87.8454	87.8454	-41.738	136.278	120.72	136.278	325.6958	306.632		
15	5.97872	302.844	2489.821	307.345	2465.47	1529.57	1279.508	1333836	194.0197840	2.33640413	0.02015	0.00049	-65.694	109.9452	107.9452	-65.694	148.926	134.747	148.926	274.905	266.074		
16	5.58762	1.02884	2689.821	347.586	2465.47	1529.57	1279.508	1333836	211.110596	3.0594141	0.02015	0.00049	-65.694	109.9452	107.9452	-65.694	148.926	134.747	148.926	274.905	266.074		
17	5.4035	4.52881	2645.44	392.453	2616.19	1555.889	1261.692	1333836	225.866642	3.9420793	0.02145	0.00051	-76.256	118.979	118.979	-76.256	150.488	135.084	150.488	286.039	280.825		
18	4.99219	0.02466	2801.408	439.749	2763.14	1572.64	1244.32	1333836	238.000314	4.983378546	0.02269	0.00068	-88.178	130.6548	130.6548	-88.178	167.178	162.283	162.283	305.178	305.178		
19	4.68734	1.53883	2956.62	593.747	2915.81	1592.36	1226.201	1333836	258.958049	6.27188626	0.02369	0.00055	-110.679	142.981	142.981	-110.679	176.475	170.293	176.475	314.154	314.154		
20	4.68734	1.53883	2956.62	593.747	2915.81	1592.36	1226.201	1333836	258.958049	6.27188626	0.02369	0.00055	-110.679	142.981	142.981	-110.679	176.475	170.293	176.475	314.154	314.154		
21	4.49361	11.6264	3279.519	655.949	3353.888	1654.072	1164.49	1333836	265.6587371	7.688055324	0.02509	0.00078	-133.891	165.942	155.942	-133.891	185.353	178.429	185.353	345.6327	341.7614		
22	4.09386	0.55388	3267.988	598.5473	3212.007	1632.387	1185.974	1333836	276.3972702	9.89719563	0.02621	0.00085	-137.801	169.531	169.531	-137.801	194.790	184.255	194.790	344.859	344.859		
23	3.87302	11.5728	3473.517	719.983	3506.362	1676.62	1144.109	1333836	280.1866522	11.5596611	0.02687	0.00086	-157.642	198.639	198.639	-157.642	218.255	208.623	218.255	352.6431	347.802		
24	3.71915	12.0285	3734.731	781.76	3651.991	1699.715	1118.846	1333836	314.199755	16.1956502	0.02995	0.00105	-173.58	214.129	214.129	-173.58	226.322	203.551	203.551	380.226	380.226		
25	3.63438	12.594	3801.365	848.381	3796.735	1724.846	1094.713	1333836	326.6528432	19.1194824	0.03076	0.00114	-190.195	230.267	230.267	-190.195	239.574	216.902	216.902	407.3457	407.3457		
26	3.43493	13.097	4001.595	917.301	3940.455	1748.63	1069.731	1333836	339.036537	22.1225318	0.03215	0.00124	-207.489	246.941	246.941	-207.489	280.558	228.625	228.625	438.588	438.588		
27	3.29948	13.6261	4201.572	998.4353	4080.458	1762.62	1043.91	1333836	351.180208	26.1332201	0.03315	0.00143	-225.461	264.7	264.7	-225.461	246.659	238.667	238.667	464.859	464.859		
28	3.16161	14.1538	4357.186	1064.064	4225.57	1801.295	1017.266	1333836	363.5207543	30.2483824	0.03473	0.00145	-244.111	282.199	282.199	-244.111	255.252	236.979	236.979	492.552	492.552		
29	3.02919	14.6529	4528.143	1141.447	4366.058	1821.263	988.817	1333836	375.659476	34.9397553	0.035621	0.00152	-263.44	300.725	300.725	-263.44	277.612	243.513	243.513	520.947	520.947		
30	2.99532	15.0843	4658.423	1221.25	4536.7	1855.98	961.837	1333836	387.654746	40.04293736	0.03681	0.00162	-283.348	319.835	319.835	-283.348	272.014	258.223	258.223	548.024	548.024		
31	2.99532	15.0843	4658.423	1221.25	4536.7	1855.98	961.837	1333836	387.654746	40.04293736	0.03681	0.00162	-283.348	319.835	319.835	-283.348	272.014	258.223	258.223	548.024	548.024		

a1	a2	a3	a4	a		u1	u2	u3	u4	Cm0	Cm1	Cm2	Cm3	Cm4	Cm5	Cm6	Cm7	Cm8	Cm9	Cm10	Cm11	Cm12	Cm13	Cm14	Cm15	Cm16	Cm17	Cm18	Cm19	Cm20	Cm21	Cm22	Cm23	Cm24	Cm25	Cm26	Cm27	Cm28	Cm29	Cm30	Cm31	Cm32	Cm33	Cm34	Cm35	Cm36	Cm37	Cm38	Cm39	Cm40	Cm41	Cm42	Cm43	Cm44	Cm45	Cm46	Cm47	Cm48	Cm49	Cm50	Cm51	Cm52	Cm53	Cm54	Cm55	Cm56	Cm57	Cm58	Cm59	Cm60	Cm61	Cm62	Cm63	Cm64	Cm65	Cm66	Cm67	Cm68	Cm69	Cm70	Cm71	Cm72	Cm73	Cm74	Cm75	Cm76	Cm77	Cm78	Cm79	Cm80	Cm81	Cm82	Cm83	Cm84	Cm85	Cm86	Cm87	Cm88	Cm89	Cm90	Cm91	Cm92	Cm93	Cm94	Cm95	Cm96	Cm97	Cm98	Cm99	Cm100	Cm101	Cm102	Cm103	Cm104	Cm105	Cm106	Cm107	Cm108	Cm109	Cm110	Cm111	Cm112	Cm113	Cm114	Cm115	Cm116	Cm117	Cm118	Cm119	Cm120	Cm121	Cm122	Cm123	Cm124	Cm125	Cm126	Cm127	Cm128	Cm129	Cm130	Cm131	Cm132	Cm133	Cm134	Cm135	Cm136	Cm137	Cm138	Cm139	Cm140	Cm141	Cm142	Cm143	Cm144	Cm145	Cm146	Cm147	Cm148	Cm149	Cm150	Cm151	Cm152	Cm153	Cm154	Cm155	Cm156	Cm157	Cm158	Cm159	Cm160	Cm161	Cm162	Cm163	Cm164	Cm165	Cm166	Cm167	Cm168	Cm169	Cm170	Cm171	Cm172	Cm173	Cm174	Cm175	Cm176	Cm177	Cm178	Cm179	Cm180	Cm181	Cm182	Cm183	Cm184	Cm185	Cm186	Cm187	Cm188	Cm189	Cm190	Cm191	Cm192	Cm193	Cm194	Cm195	Cm196	Cm197	Cm198	Cm199	Cm200	Cm201
----	----	----	----	---	--	----	----	----	----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

δ_i	$R_{0.05}$	F_c	$F_c \sin \beta$	$F_c \cos \beta$	F_{ef}	F_d	Momen rolling		Momen Pitching		γ	ψ	F_u				F_v				F_z																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
							M_r	M_p	F_{u1}	F_{u2}			F_{u3}	F_{u4}	F_{u5}	F_{u6}	F_{u7}	F_{u8}	F_{u9}	F_{u10}	F_{v1}	F_{v2}	F_{v3}	F_{v4}	F_{v5}	F_{v6}	F_{v7}	F_{v8}	F_{v9}	F_{v10}																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
1	80.08955	0.50057	224.0946	1.955792	224.0861	1407.154	1413.221	19.63385	19.2795725	0.00856601	-2.4E-05	22.75195	23.70899	22.75195	135.464	135.3637	135.3637	135.464	671.195	671.812	726.698	743.896																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											

a1	a2	a3	a4	a																k1	k2	k3	k4	k5	k6	k7	k8	k9	k10	k11	k12	k13	k14	k15	k16	k17	k18	k19	k20	k21	k22	k23	k24	k25	k26	k27	k28	k29	k30	k31	k32	k33	k34	k35	k36	k37	k38	k39	k40	k41	k42	k43	k44	k45	k46	k47	k48	k49	k50	k51	k52	k53	k54	k55	k56	k57	k58	k59	k60	k61	k62	k63	k64	k65	k66	k67	k68	k69	k70	k71	k72	k73	k74	k75	k76	k77	k78	k79	k80	k81	k82	k83	k84	k85	k86	k87	k88	k89	k90	k91	k92	k93	k94	k95	k96	k97	k98	k99	k100	k101	k102	k103	k104	k105	k106	k107	k108	k109	k110	k111	k112	k113	k114	k115	k116	k117	k118	k119	k120	k121	k122	k123	k124	k125	k126	k127	k128	k129	k130	k131	k132	k133	k134	k135	k136	k137	k138	k139	k140	k141	k142	k143	k144	k145	k146	k147	k148	k149	k150	k151	k152	k153	k154	k155	k156	k157	k158	k159	k160	k161	k162	k163	k164	k165	k166	k167	k168	k169	k170	k171	k172	k173	k174	k175	k176	k177	k178	k179	k180	k181	k182	k183	k184	k185	k186	k187	k188	k189	k190	k191	k192	k193	k194	k195	k196	k197	k198	k199	k200	k201	k202	k203	k204	k205	k206	k207	k208	k209	k210	k211	k212	k213	k214	k215	k216	k217	k218	k219	k220	k221	k222	k223	k224	k225	k226	k227	k228	k229	k230	k231	k232	k233	k234	k235	k236	k237	k238	k239	k240	k241	k242	k243	k244	k245	k246	k247	k248	k249	k250	k251	k252	k253	k254	k255	k256	k257	k258	k259	k260	k261	k262	k263	k264	k265	k266	k267	k268	k269	k270	k271	k272	k273	k274	k275	k276	k277	k278	k279	k280	k281	k282	k283	k284	k285	k286	k287	k288	k289	k290	k291	k292	k293	k294	k295	k296	k297	k298	k299	k300	k301	k302	k303	k304	k305	k306	k307	k308	k309	k310	k311	k312	k313	k314	k315	k316	k317	k318	k319	k320	k321	k322	k323	k324	k325	k326	k327	k328	k329	k330	k331	k332	k333	k334	k335	k336	k337	k338	k339	k340	k341	k342	k343	k344	k345	k346</
----	----	----	----	---	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	----	----	----	----	----	----	----	----	----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	--------

δ_i	R_{90}	β	ϵ_c	$\epsilon_c \sin \beta$	$\epsilon_c \cos \beta$	F_{β}	F_{θ}	F_{ϕ}	ψ	F_{α}	F_{β}	F_{γ}	F_{δ}	F_{ϵ}	F_{ζ}	F_{η}						
1	1.80.00556	0.09735	305.0281	2.60429	305.065	1405.15761	1413.409	26.72476	26.24215261	0.015894346	0.002489	-3.3e-45	24.34465	25.67869	24.34465	184.1328	184.2638	652.9798	653.6897	747.7297	747.7297	151.0884
2	44.54208	0.995808	610.0582	10.94172	609.9694	440.23246	1410.329	26.72476	52.47831596	0.007899155	0.004977	-3.2e-45	22.35061	27.6669	22.35061	368.1249	368.1249	368.4086	604.8751	608.7249	796.2214	801.5507
3	25.69532	1.093638	915.0843	23.94386	914.771	1413.364803	1405.197	26.72476	78.70249751	0.00212247	0.007463	-3.8e-46	19.02731	30.98741	19.02731	552.6291	551.8355	552.6292	552.6292	556.6618	585.6658	882.7341
4	22.27149	1.999321	1220.112	42.86866	1219.37	1420.548803	1388.016	26.72476	104.930701	0.00288804	0.009948	2.18e-45	14.37445	35.65315	14.37445	736.6426	735.1242	736.6426	510.7556	539.6588	886.0517	904.6274
5	17.8179	2.69437	1525.141	65.51072	1523.69	1429.76971	1388.791	26.72476	131.090923	0.04494006	0.013481	4.38237	10.32319	41.6089	4.38237	917.8512	917.8512	917.8512	464.7322	449.737	947.3897	957.1932
6	14.84766	2.99743	1830.169	95.7544	1827.661	1441.03287	1377.529	26.72476	157.243151	0.13059744	0.01911	1.00862	48.903	48.903	1.00862	1004.122	1009.877	1014.122	419.407	394.878	999.061	1001.498
7	12.7866	3.00279	2135.097	130.561	2131.24	1454.32681	1364.246	26.72476	183.3593611	0.29479689	0.017386	0.000149	7.53267	7.53267	7.53267	1287.509	1287.509	1287.509	374.8695	339.1232	1052.793	1064.453
8	11.13574	4.01082	2440.225	170.2675	2434.27	1461.64946	1348.916	26.72476	209.4333155	0.56549096	0.000197	0.55997	67.4036	67.4036	0.55997	1081.062	1081.062	1081.062	147.591	131.0507	282.4739	282.4739
9	9.88849	4.50219	2745.25	215.9407	2736.32	1486.97726	1331.584	26.72476	235.6595402	0.97793807	0.02239	0.00016	28.8297	78.7186	28.8297	1653.338	1640.36	1653.338	287.9638	249.9416	1161.732	1174.345
10	8.90855	5.00346	3001.281	266.0429	3006.67	1506.31274	1312.248	26.72476	261.434228	1.57387117	0.02491	0.000229	-41.4586	91.7792	-41.4586	1833.706	1818.2	1833.706	245.668	166.5378	1271.542	1280.26
11	8.089723	5.505486	3355.309	321.9119	3339.831	1527.64051	1290.921	26.72476	287.3430099	2.39147049	0.027249	0.00046	-55.4169	105.1531	-55.4169	2071.651	1994.653	1994.653	207.651	204.629	1774.218	1786.804
12	7.428269	6.077449	3603.337	383.1018	3640.24	1550.94638	1267.615	26.72476	313.1880345	3.46569886	0.0297	0.00049	-70.7045	120.3313	-70.7045	2199.129	2169.585	2199.129	163.4278	147.6194	1331.749	1343.988
13	6.852765	6.510476	3965.365	449.6125	3939.79	1576.21792	1242.344	26.72476	338.9406639	4.90817803	0.032344	0.000362	-87.3215	136.8091	-87.3215	2380.086	2342.863	2380.086	123.4622	113.7869	1301.124	1401.738
14	6.363201	7.013707	4270.394	521.4441	4239.438	1601.54271	1215.124	26.72476	364.6486171	6.7171957	0.03458	0.000381	-105.368	154.5805	-105.368	2560.515	2514.558	2560.515	84.3674	75.5609	1449.337	1460.105
15	5.93983	7.517483	4575.422	598.5965	4536.06	1622.50857	1185.971	26.72476	390.2638618	8.97580157	0.03708	0.00037	-124.544	173.6431	-124.544	2740.335	2683.939	2740.335	46.0696	41.8	1593.36	1519.055
16	5.567871	8.021844	4880.45	681.0698	4832.684	1663.65543	1154.906	26.72476	415.7817623	11.75124236	0.039428	0.0001	-145.149	193.988	-145.149	2919.515	2861.48	2919.515	8.59637	205.537	1571.202	1578.577
17	5.2405	8.526331	5185.478	768.864	5128.16	1696.61796	1121.944	26.72476	441.202465	15.15136194	0.041639	0.000121	-167.083	215.609	-167.083	3088.011	3016.853	3088.011	-28.0228	265.716	151.843	1638.66
18	4.94019	9.032486	5490.156	861.979	5422.42	1731.45564	1087.107	26.72476	466.5190033	19.147998	0.04424	0.000149	-190.347	238.5023	-190.347	3179.937	3179.937	3179.937	-63.7662	330.672	1694.27	1699.291
19	4.68874	9.588632	5795.534	960.4149	5715.402	1768.14564	1050.416	26.72476	491.7256797	23.93635536	0.04663	0.001385	-214.94	262.6381	-214.94	3452.774	3340.608	3452.774	-98.6798	396.394	1575.475	1760.459
20	4.454268	10.04597	6101.562	1064.172	6007.029	1806.66865	1011.881	26.72476	516.8159719	29.53940707	0.049109	0.001427	-240.862	288.1698	-240.862	3628.915	3498.749	3628.915	-132.692	462.865	1621.445	1822.152
21	4.242188	10.53388	6405.59	1173.249	6297.227	1846.97705	971.5635	26.72476	541.781524	36.07759603	0.051377	0.001577	-268.114	314.7296	-268.114	3804.261	3694.241	3804.261	-165.81	530.086	1686.169	1884.157
22	4.04961	11.02364	6716.018	1287.648	6585.92	1889.11805	929.409	26.72476	566.6210669	43.6824489	0.053732	0.00175	-286.066	342.629	-286.066	3978.971	3806.971	3978.971	-198.022	598.032	1651.634	1947.062
23	3.873301	11.57228	7015.967	1407.367	6873.05	1932.97877	885.5816	26.72476	591.322893	52.31574317	0.056075	0.0019	-326.066	371.703	-326.066	4152.121	3956.866	4152.121	-229.315	666.695	1617.83	2010.255
24	3.719195	12.08285	7326.675	1532.407	7158.402	1975.57914	839.9825	26.72476	615.8821982	62.1207898	0.058404	0.002077	-357.846	403.57	-357.846	4324.57	4095.697	4324.57	-259.678	738.062	1604.76	2073.924
25	3.563438	12.5944	7625.703	1662.168	7442.24	2025.87939	792.6819	26.72476	640.2923597	73.61649218	0.060719	0.002251	-390.415	433.6793	-390.415	4485.972	4247.278	4485.972	-289.098	806.121	1552.364	2138.055
26	3.426383	13.0597	7930.731	1799.45	7774.123	2074.852018	743.7091	26.72476	664.546344	86.15159533	0.063019	0.002348	-424.314	466.4402	-424.314	4666.278	4388.066	4666.278	-317.563	876.838	1520.831	2202.637
27	3.29948	13.62061	8235.79	1939.453	8004.14	2125.46897	693.0945	26.72476	688.673516	100.4690297	0.065302	0.002632	-469.342	500.408	-469.342	4835.44	4635.36	4835.44	-345.059	948.261	1589.678	2267.665
28	3.181641	14.13536	8530.79	2085.77	8362.85	2177.69391	640.8693	26.72476	712.5593119	116.307076	0.067623	0.00283	-496.099	535.5535	-496.099	5032.461	4659.262	5032.461	-371.573	1031.671	1560.32	2331.1
29	3.071929	14.65129	8845.815	2231.421	8559.17	2231.495078	597.0620	26.72476	736.3943792	134.1304968	0.069823	0.003042	-533.986	570.145	-533.986	5170.145	4789.68	5170.145	-397.094	1091.01	1429.671	2388.956
30	2.969521	15.16843	9150.043	2394.386	8831.05	2286.840734	531.7385	26.72476	759.8650283	153.8641765	0.072058	0.003258	-573.022	605.3408	-573.022	5335.587	4916.521	5335.587	-421.616	1166.34	1500.641	2465.269

δ_i	ρ_{res}	β	ϵ_c	$\epsilon_2 \sin \beta$	$\epsilon_2 \cos \beta$	E_θ	E_φ	E_θ	moments calling	Moments Pitching	γ	ψ	F_x				F_y				F_z			
									hr	Mod			F_{x1}	F_{x2}	F_{x3}	F_{x4}	F_{y1}	F_{y2}	F_{y3}	F_{y4}	F_{z1}	F_{z2}	F_{z3}	F_{z4}
1	80.00556	0.09735	398.3426	3.47431	398.3274	403.889	144.673	34.90043	34.2707676	0.02710534	0.00325	-4.3E-05	26.18391	27.91554	27.91554	26.18391	240.666	240.429	240.429	240.6366	644.8701	645.991	760.773	773.9434
2	44.54208	0.99508	796.682	13.89724	796.564	407.912	140.051	34.90043	68.53535	0.01207111	0.00649	-2.9E-05	32.57865	30.52211	30.52211	32.57865	480.742	480.742	480.742	481.282	579.4566	579.4248	824.093	836.028
3	28.69532	1.195108	1195.028	31.28079	1194.619	140.614	140.348	34.90043	102.779292	0.00016977	0.00947	-5E-06	19.28716	34.85884	34.85884	19.2976	720.635	720.635	720.635	721.69	511.2535	511.2535	888.668	898.1156
4	22.27149	1.99321	1593.37	55.8886	1592.4	443.991	1394.571	34.90043	137.002469	0.01174768	0.02392	2.85E-05	13.16362	40.32842	40.32842	13.16362	961.997	960.041	960.041	961.997	446.1155	442.0571	554.668	559.886
5	17.8179	2.69437	1991.73	86.8575	1989.818	463.971	1382.524	34.90043	171.1943808	0.07404691	0.01624	7.15E-05	5.51454	48.72889	48.72889	5.51454	1202.084	1198.641	1198.641	1202.084	378.2253	371.6751	452.057	461.488
6	14.84766	2.99743	2390.056	125.0752	2386.761	460.746	1367.815	34.90043	205.3471229	0.22317067	0.019473	0.000124	-4.19E-05	38.23818	58.23818	4.19E-05	144.866	143.362	143.362	144.866	305.5415	299.9766	360.704	369.1078
7	12.72866	3.00279	2708.398	170.2452	2703.196	468.108	1350.654	34.90043	239.4528265	0.50272317	0.02207	0.00016	-15.461	69.51309	69.51309	-15.461	130.478	129.478	129.478	130.478	240.0788	237.1652	297.168	316.558
8	11.13574	4.00102	3186.74	222.3558	3178.974	468.112	1330.449	34.90043	275.503626	0.96491171	0.02596	0.00038	-28.5013	82.49028	82.49028	-28.5013	130.478	129.478	129.478	130.478	240.0788	237.1652	297.168	316.558
9	9.888459	4.520191	3585.08	281.4191	3574.021	450.746	1307.815	34.90043	307.4915893	1.667899139	0.029159	0.00039	-43.576	97.1858	97.1858	-43.576	129.478	128.478	128.478	129.478	240.0788	237.1652	297.168	316.558
10	9.800559	5.003646	3983.26	347.431	3968.246	455.997	1282.564	34.90043	341.4087684	2.68074647	0.03276	0.00048	-59.75	113.952	113.952	-59.75	129.478	128.478	128.478	129.478	240.0788	237.1652	297.168	316.558
11	8.089723	5.905486	4381.769	420.3915	4361.556	453.849	1254.712	34.90043	375.2472524	4.078484163	0.03586	0.00053	-77.9794	131.7133	131.7133	-77.9794	129.478	128.478	128.478	129.478	240.0788	237.1652	297.168	316.558
12	7.428269	6.07749	4780.111	500.3006	4753.858	454.285	1224.276	34.90043	408.990381	5.94468561	0.03876	0.00064	-97.9408	151.5348	151.5348	-97.9408	129.478	128.478	128.478	129.478	240.0788	237.1652	297.168	316.558
13	6.852765	6.510476	5178.454	587.1584	5145.059	462.267	1191.275	34.90043	442.6560887	8.370551651	0.041977	0.00076	-119.943	173.0536	173.0536	-119.943	129.478	128.478	128.478	129.478	240.0788	237.1652	297.168	316.558
14	6.363201	7.013077	5576.796	680.9647	5535.065	462.833	1155.728	34.90043	476.2103801	11.45570189	0.045159	0.00089	-143.08	196.2629	196.2629	-143.08	129.478	128.478	128.478	129.478	240.0788	237.1652	297.168	316.558
15	5.93983	7.517483	5975.139	781.7197	5922.783	460.944	1117.658	34.90043	509.6537407	15.30739185	0.04883	0.00108	-168.252	221.1558	221.1558	-168.252	129.478	128.478	128.478	129.478	240.0788	237.1652	297.168	316.558
16	5.567072	8.021844	6373.462	889.4233	6311.117	474.474	1077.087	34.90043	542.9781082	20.04091529	0.05149	0.001176	-195.161	247.7247	247.7247	-195.161	129.478	128.478	128.478	129.478	240.0788	237.1652	297.168	316.558
17	5.24055	8.526301	6771.824	1004.076	6686.972	478.5	1034.043	34.90043	576.1752508	25.77951006	0.054639	0.00133	-223.806	275.9612	275.9612	-223.806	129.478	128.478	128.478	129.478	240.0788	237.1652	297.168	316.558
18	4.949159	9.032486	7170.167	1125.676	7081.253	480.014	988.5469	34.90043	609.2369395	32.65436668	0.05774	0.001501	-254.186	305.8569	305.8569	-254.186	129.478	128.478	128.478	129.478	240.0788	237.1652	297.168	316.558
19	4.688724	9.588652	7598.309	1254.226	7463.863	487.93	940.6314	34.90043	642.1548999	40.80456561	0.06085	0.001678	-286.303	337.4024	337.4024	-286.303	129.478	128.478	128.478	129.478	240.0788	237.1652	297.168	316.558
20	4.454208	10.04597	7966.652	1389.724	7844.705	492.237	891.2493	34.90043	674.507675	50.37788223	0.06403	0.001864	-320.156	370.5881	370.5881	-320.156	129.478	128.478	128.478	129.478	240.0788	237.1652	297.168	316.558
21	4.242168	10.53589	8365.195	1532.171	8223.681	490.935	837.6567	34.90043	707.5296315	61.52767687	0.06704	0.00206	-355.744	405.4037	405.4037	-355.744	129.478	128.478	128.478	129.478	240.0788	237.1652	297.168	316.558
22	4.049361	11.06234	8763.537	1681.566	8600.693	493.5	782.661	34.90043	739.9622388	74.41853481	0.07017	0.002266	-393.069	441.8385	441.8385	-393.069	129.478	128.478	128.478	129.478	240.0788	237.1652	297.168	316.558
23	3.873301	11.57228	9161.88	1837.91	8975.64	492.19	725.711	34.90043	772.2209497	89.22081268	0.073229	0.002481	-432.13	479.8812	479.8812	-432.13	129.478	128.478	128.478	129.478	240.0788	237.1652	297.168	316.558
24	3.719195	12.02895	9560.727	2001.193	9484.424	492.739	665.8233	34.90043	804.294598	106.1136924	0.076721	0.002705	-472.927	519.57	519.57	-472.927	129.478	128.478	128.478	129.478	240.0788	237.1652	297.168	316.558
25	3.563438	12.5944	9988.365	2217.444	9718.943	491.51	604.0515	34.90043	836.1710672	125.383955	0.079294	0.00294	-515.46	560.7426	560.7426	-515.46	129.478	128.478	128.478	129.478	240.0788	237.1652	297.168	316.558
26	3.426383	13.10597	10356.91	2396.633	10007.09	490.644	540.0969	34.90043	867.8449866	146.9523719	0.082297	0.003183	-559.729	603.5362	603.5362	-559.729	129.478	128.478	128.478	129.478	240.0788	237.1652	297.168	316.558
27	3.29948	13.62061	10755.25	2532.772	10452.77	484.553	473.981	34.90043	899.3063366	171.4203093	0.085281	0.00347	-605.744	647.8873	647.8873	-605.744	129.478	128.478	128.478	129.478	240.0788	237.1652	297.168	316.558
28	3.181641	14.13536	11153.9	2723.899	10851.88	482.765	405.7962	34.90043	930.5467237	198.4446094	0.088423	0.00372	-654.475	693.782	693.782	-654.475	129.478	128.478	128.478	129.478	240.0788	237.1652	297.168	316.558
29	3.077029	14.65129	11551.9	2921.895	11176.3	483.028	335.5336	34.90043	961.5553041	228.759449	0.091184	0.003977	-702.592	740.1453	740.1453	-702.592	129.478	128.478	128.478	129.478	240.0788	237.1652	297.168	316.558
30	2.969532	15.16843	11950.28	3126.679	11553.94	485.307	263.2539	34.90043	992.2446998	262.39745	0.094012	0.004254	-754.165	790.1453	790.1453	-754.165	129.478	128.478	128.478	129.478	240.0788	237.1652	297.168	316.558

a				q ₁	q ₂	q ₃	q ₄	C ₁₀	C ₁₁	C ₁₂	C ₁₃	C ₁₄	C ₁₅	C ₁₆	C ₁₇	C ₁₈	C ₁₉	C ₂₀	C ₂₁	C ₂₂	C ₂₃	C ₂₄	C ₂₅	C ₂₆	C ₂₇	C ₂₈	C ₂₉	C ₃₀	C ₃₁	C ₃₂	C ₃₃	C ₃₄	C ₃₅	C ₃₆	C ₃₇	C ₃₈	C ₃₉	C ₄₀	C ₄₁	C ₄₂	C ₄₃	C ₄₄	C ₄₅	C ₄₆	C ₄₇	C ₄₈	C ₄₉	C ₅₀	C ₅₁	C ₅₂	C ₅₃	C ₅₄	C ₅₅	C ₅₆	C ₅₇	C ₅₈	C ₅₉	C ₆₀	C ₆₁	C ₆₂	C ₆₃	C ₆₄	C ₆₅	C ₆₆	C ₆₇	C ₆₈	C ₆₉	C ₇₀	C ₇₁	C ₇₂	C ₇₃	C ₇₄	C ₇₅	C ₇₆	C ₇₇	C ₇₈	C ₇₉	C ₈₀	C ₈₁	C ₈₂	C ₈₃	C ₈₄	C ₈₅	C ₈₆	C ₈₇	C ₈₈	C ₈₉	C ₉₀	C ₉₁	C ₉₂	C ₉₃	C ₉₄	C ₉₅	C ₉₆	C ₉₇	C ₉₈	C ₉₉	C ₁₀₀	C ₁₀₁	C ₁₀₂	C ₁₀₃	C ₁₀₄	C ₁₀₅	C ₁₀₆	C ₁₀₇	C ₁₀₈	C ₁₀₉	C ₁₁₀	C ₁₁₁	C ₁₁₂	C ₁₁₃	C ₁₁₄	C ₁₁₅	C ₁₁₆	C ₁₁₇	C ₁₁₈	C ₁₁₉	C ₁₂₀	C ₁₂₁	C ₁₂₂	C ₁₂₃	C ₁₂₄	C ₁₂₅	C ₁₂₆	C ₁₂₇	C ₁₂₈	C ₁₂₉	C ₁₃₀	C ₁₃₁	C ₁₃₂	C ₁₃₃	C ₁₃₄	C ₁₃₅	C ₁₃₆	C ₁₃₇	C ₁₃₈	C ₁₃₉	C ₁₄₀	C ₁₄₁	C ₁₄₂	C ₁₄₃	C ₁₄₄	C ₁₄₅	C ₁₄₆	C ₁₄₇	C ₁₄₈	C ₁₄₉	C ₁₅₀	C ₁₅₁	C ₁₅₂	C ₁₅₃	C ₁₅₄	C ₁₅₅	C ₁₅₆	C ₁₅₇	C ₁₅₈	C ₁₅₉	C ₁₆₀	C ₁₆₁	C ₁₆₂	C ₁₆₃	C ₁₆₄	C ₁₆₅	C ₁₆₆	C ₁₆₇	C ₁₆₈	C ₁₆₉	C ₁₇₀	C ₁₇₁	C ₁₇₂	C ₁₇₃	C ₁₇₄	C ₁₇₅	C ₁₇₆	C ₁₇₇	C ₁₇₈	C ₁₇₉	C ₁₈₀	C ₁₈₁	C ₁₈₂	C ₁₈₃	C ₁₈₄	C ₁₈₅	C ₁₈₆	C ₁₈₇	C ₁₈₈	C ₁₈₉	C ₁₉₀	C ₁₉₁	C ₁₉₂	C ₁₉₃	C ₁₉₄	C ₁₉₅	C ₁₉₆	C ₁₉₇	C ₁₉₈	C ₁₉₉	C ₂₀₀	C ₂₀₁	C ₂₀₂	C ₂₀₃	C ₂₀₄	C ₂₀₅	C ₂₀₆	C ₂₀₇	C ₂₀₈	C ₂₀₉	C ₂₁₀	C ₂₁₁	C ₂₁₂	C ₂₁₃	C ₂₁₄	C ₂₁₅	C ₂₁₆	C ₂₁₇	C ₂₁₈	C ₂₁₉	C ₂₂₀	C ₂₂₁	C ₂₂₂	C ₂₂₃	C ₂₂₄	C ₂₂₅	C ₂₂₆	C ₂₂₇	C ₂₂₈	C ₂₂₉	C ₂₃₀	C ₂₃₁	C ₂₃₂	C ₂₃₃	C ₂₃₄	C ₂₃₅	C ₂₃₆	C ₂₃₇	C ₂₃₈	C ₂₃₉	C ₂₄₀	C ₂₄₁	C ₂₄₂	C ₂₄₃	C ₂₄₄	C ₂₄₅	C ₂₄₆	C ₂₄₇	C ₂₄₈	C ₂₄₉	C ₂₅₀	C ₂₅₁	C ₂₅₂	C ₂₅₃	C ₂₅₄	C ₂₅₅	C ₂₅₆	C ₂₅₇	C ₂₅₈	C ₂₅₉	C ₂₆₀	C ₂₆₁	C ₂₆₂	C ₂₆₃	C ₂₆₄	C ₂₆₅	C ₂₆₆	C ₂₆₇	C ₂₆₈	C ₂₆₉	C ₂₇₀	C ₂₇₁	C ₂₇₂	C ₂₇₃	C ₂₇₄	C ₂₇₅	C ₂₇₆	C ₂₇₇	C ₂₇₈	C ₂₇₉	C ₂₈₀	C ₂₈₁	C ₂₈₂	C ₂₈₃	C ₂₈₄	C ₂₈₅	C ₂₈₆	C ₂₈₇	C ₂₈₈	C ₂₈₉	C ₂₉₀	C ₂₉₁	C ₂₉₂	C ₂₉₃	C ₂₉₄	C ₂₉₅	C ₂₉₆	C ₂₉₇	C ₂₉₈	C ₂₉₉	C ₃₀₀	C ₃₀₁	C ₃₀₂	C ₃₀₃	C ₃₀₄	C ₃₀₅	C ₃₀₆	C ₃₀₇	C ₃₀₈	C ₃₀₉	C ₃₁₀	C ₃₁₁	C ₃₁₂	C ₃₁₃	C ₃₁₄	C ₃₁₅	C ₃₁₆	C ₃₁₇	C ₃₁₈	C ₃₁₉	C ₃₂₀	C ₃₂₁	C ₃₂₂	C ₃₂₃	C ₃₂₄	C ₃₂₅	C ₃₂₆	C ₃₂₇	C ₃₂₈	C ₃₂₉	C ₃₃₀	C ₃₃₁	C ₃₃₂	C ₃₃₃	C ₃₃₄	C ₃₃₅	C ₃₃₆	C ₃₃₇	C ₃₃₈	C ₃₃₉	C ₃₄₀	C ₃₄₁	C ₃₄₂	C ₃₄₃	C ₃₄₄	C ₃₄₅	C ₃₄₆	C ₃₄₇	C ₃₄₈	C ₃₄₉	C ₃₅₀	C ₃₅₁	C ₃₅₂	C ₃₅₃	C ₃₅₄	C ₃₅₅	C ₃₅₆	C ₃₅₇	C ₃₅₈	C ₃₅₉	C ₃₆₀	C ₃₆₁	C ₃₆₂	C ₃₆₃	C ₃₆₄	C ₃₆₅	C ₃₆₆	C ₃₆₇	C ₃₆₈	C ₃₆₉	C ₃₇₀	C ₃₇₁	C ₃₇₂	C ₃₇₃	C ₃₇₄	C ₃₇₅	C ₃₇₆	C ₃₇₇	C ₃₇₈	C ₃₇₉	C ₃₈₀	C ₃₈₁	C ₃₈₂	C ₃₈₃	C ₃₈₄	C ₃₈₅	C ₃₈₆	C ₃₈₇	C ₃₈₈	C ₃₈₉	C ₃₉₀	C ₃₉₁	C ₃₉₂	C ₃₉₃	C ₃₉₄	C ₃₉₅	C ₃₉₆	C ₃₉₇	C ₃₉₈	C ₃₉₉	C ₄₀₀	C ₄₀₁	C ₄₀₂	C ₄₀₃	C ₄₀₄	C ₄₀₅	C ₄₀₆	C ₄₀₇	C ₄₀₈	C ₄₀₉	C ₄₁₀	C ₄₁₁	C ₄₁₂	C ₄₁₃	C ₄₁₄	C ₄₁₅	C ₄₁₆	C ₄₁₇	C ₄₁₈	C ₄₁₉	C ₄₂₀	C ₄₂₁	C ₄₂₂	C ₄₂₃	C ₄₂₄	C ₄₂₅	C ₄₂₆	C ₄₂₇	C ₄₂₈	C ₄₂₉	C ₄₃₀	C ₄₃₁	C ₄₃₂	C ₄₃₃	C ₄₃₄	C ₄₃₅	C ₄₃₆	C ₄₃₇	C ₄₃₈	C ₄₃₉	C ₄₄₀	C ₄₄₁	C ₄₄₂	C ₄₄₃	C ₄₄₄	C ₄₄₅	C ₄₄₆	C ₄₄₇	C ₄₄₈	C ₄₄₉	C ₄₅₀	C ₄₅₁	C ₄₅₂	C ₄₅₃	C ₄₅₄	C ₄₅₅	C ₄₅₆	C ₄₅₇	C ₄₅₈	C ₄₅₉	C ₄₆₀	C ₄₆₁	C ₄₆₂	C ₄₆₃	C ₄₆₄	C ₄₆₅	C ₄₆₆	C ₄₆₇	C ₄₆₈	C ₄₆₉	C ₄₇₀	C ₄₇₁	C ₄₇₂	C ₄₇₃	C ₄₇₄	C ₄₇₅	C ₄₇₆	C ₄₇₇	C ₄₇₈	C ₄₇₉	C ₄₈₀	C ₄₈₁	C ₄₈₂	C ₄₈₃	C ₄₈₄	C ₄₈₅	C ₄₈₆	C ₄₈₇	C ₄₈₈	C ₄₈₉	C ₄₉₀	C ₄₉₁	C ₄₉₂	C ₄₉₃	C ₄₉₄	C ₄₉₅	C ₄₉₆	C ₄₉₇	C ₄₉₈	C ₄₉₉	C ₅₀₀	C ₅₀₁	C ₅₀₂	C ₅₀₃	C ₅₀₄	C ₅₀₅	C ₅₀₆	C ₅₀₇	C ₅₀₈	C ₅₀₉	C ₅₁₀	C ₅₁₁	C ₅₁₂	C ₅₁₃	C ₅₁₄	C ₅₁₅	C ₅₁₆	C ₅₁₇	C ₅₁₈	C ₅₁₉	C ₅₂₀	C ₅
---	--	--	--	----------------	----------------	----------------	----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	----------------

Data perhitungan posisi titik berat

ϕ_i	R_{sk}	β	F_c	$F_c \sin \beta$	$F_c \cos \beta$	F_{θ}	F_{ϕ}	Momen (rolling)		F_{xi}				F_{yi}				F_z									
								Mr	Mp	ψ	F_{x1}	F_{x2}	F_{x3}	F_{x4}	F_{y1}	F_{y2}	F_{y3}	F_{y4}	F_{z1}	F_{z2}	F_{z3}	F_{z4}					
1	80.08355	0.45005	99.38238	0.78223	99.38238	1267.888	1532.487	8.548020145	0.001569493	0.00073	-1E-05	22.2592	18.59848	18.59848	22.2592	66.21812	54.14039	54.14039	66.21812	75.0129	621.384	647.001	792.2437				
2	44.54028	0.900128	199.1713	3.788091	199.1467	1268.894	1551.481	17.09457394	0.00771805	0.00174	-1.1E-06	21.68683	19.24276	21.68683	132.024	100.2397	100.2397	132.024	739.663	601.341	661.7289	808.5149					
3	29.69532	1.350061	298.7569	1.28095	298.674	1270.569	1549.808	25.63782035	0.02378205	0.00219	-1.8E-06	20.31653	19.6305	20.31653	198.603	162.2568	162.2568	198.603	722.568	591.030	670.0381	828.5149					
4	22.27449	1.800478	398.3426	12.51536	398.1459	1277.914	1547.461	34.71637415	0.004043006	0.00219	5.65E-06	19.02725	21.81885	19.02725	264.7498	216.1508	216.1508	264.7498	705.386	575.455	650.0338	846.9653					
5	17.8179	2.250906	497.9382	19.5557	497.544	1275.921	1544.48	42.7089346	0.033931668	0.003647	1.52E-05	17.0125	23.79013	17.0125	331.8454	269.8808	269.8808	331.8454	688.8605	595.3905	705.2971	865.6212					
6	14.84766	2.701739	597.5138	28.1602	596.85	1275.602	1540.773	51.2389915	0.00621742	0.004375	2.69E-05	14.72502	26.10394	14.72502	396.8795	323.406	323.406	396.8795	672.34	543.447	617.9971	884.4794					
7	12.72656	3.151307	697.0995	38.2892	696.045	1283.943	1536.423	59.747678	0.009437053	0.00503	4.07E-05	11.92988	28.89591	11.92988	482.8399	376.6899	376.6899	482.8399	666.040	527.0888	736.7551	903.5365					
8	11.11574	3.602737	796.6852	50.06236	795.1107	1288.944	1531.431	68.25136448	0.04717542	0.00529	5.67E-05	8.70197	32.10933	8.70197	528.7145	425.6799	425.6799	528.7145	639.555	510.565	727.9242	922.782					
9	9.888438	4.05379	886.2768	63.38004	884.0285	1294.620	1525.773	76.72434918	0.02034326	0.006534	7.48E-05	5.04016	35.7478	5.04016	594.4904	482.3481	482.3481	594.4904	624.092	492.778	768.8147	942.5942					
10	8.908595	4.505955	995.8355	76.22228	992.7796	1300.915	1519.46	85.21902584	0.123803763	0.007278	9.5E-05	0.957902	30.81118	0.957902	660.1557	534.6506	534.6506	660.1557	608.4535	476.2278	785.2404	961.8882					
11	8.088723	4.95868	1095.142	94.64895	1091.346	1307.878	1512.497	93.6798393	0.201985169	0.008	0.000117	-3.59943	44.298	44.298	-3.55943	725.6977	585.5476	585.5476	725.6977	593.0428	438.7689	601.9467	961.6879				
12	7.428269	5.408274	1195.028	112.64601	1189.707	1315.497	1504.888	8.376102	0.29502035	0.008721	0.000142	-8.50699	49.207	49.207	-8.50699	791.1041	638.0001	638.0001	791.1041	577.8633	441.0334	818.9011	1001.69				
13	6.852765	5.849085	1294.013	132.9195	1287.846	1323.738	1496.637	10.5172028	0.41653881	0.00944	0.000168	-13.8848	54.53076	54.53076	-13.8848	855.3623	688.9692	688.9692	855.3623	542.9185	423.8844	836.1008	1021.971				
14	6.36302	6.313404	1394.199	153.3157	1385.744	1332.624	1487.751	118.9505874	0.570092129	0.01059	0.000197	-19.6928	60.28577	60.28577	-19.6928	921.4598	739.4163	739.4163	921.4598	548.2117	404.8544	853.5733	1042.228				
15	5.939063	6.766388	1493.785	170.0001	1483.38	1342.142	1478.233	127.3315941	0.762586715	0.010874	0.000228	-25.931	66.45238	66.45238	-25.931	986.3839	789.3035	789.3035	986.3839	533.1461	386.9961	871.2859	1062.757				
16	5.567871	7.219818	1593.37	200.249	1580.737	1352.284	1468.091	137.58248	0.99070689	0.011588	0.00026	-32.5995	73.03485	73.03485	-32.5995	1051.122	838.5932	838.5932	1051.122	519.5253	367.6829	889.246	1083.455				
17	5.24055	7.671892	1692.556	224.0624	1677.795	1353.046	1457.329	144.0199271	1.285977213	0.0123	0.00029	-39.6861	80.0328	80.0328	-39.6861	887.2484	887.2484	887.2484	1155.661	505.5236	348.727	907.659	1104.318				
18	4.940219	8.128652	1792.542	252.4402	1774.535	1374.42	1445.953	152.3236401	1.629765564	0.01309	0.00033	-47.227	87.4397	87.4397	-47.227	1179.989	95.2324	95.2324	1179.989	491.8314	293.513	925.888	1125.344				
19	4.688734	8.632027	1892.127	282.3824	1870.937	1386.398	1433.977	160.5990276	2.034751513	0.013715	0.000373	-55.1861	95.25797	95.25797	-55.1861	1244.069	992.5093	992.5093	1244.069	478.365	310.9889	944.5946	1146.528				
20	4.454208	9.038347	1991.713	312.88891	1966.983	1398.975	1421.4	168.8494605	2.51640425	0.01422	0.000414	-72.355	103.8839	103.8839	-63.5755	1307.959	1029.044	1029.044	1307.959	465.1571	290.623	963.508	1167.867				
21	4.242188	9.494345	2091.299	344.9602	2065.652	1412.142	1402.233	177.0555799	3.074386458	0.01521	0.000458	-77.365	112.1151	112.1151	-72.395	1397.574	1074.801	1074.801	1371.574	452.211	270.5947	982.6564	1188.358				
22	4.049651	9.930948	2190.884	374.9598	2157.925	1425.891	1394.484	185.2389861	3.719548763	0.01589	0.000504	-81.6448	121.1491	121.1491	-81.6448	1434.027	1119.747	1119.747	1434.027	439.5302	250.0888	1002.604	1210.997				
23	3.873302	10.40819	2290.47	413.7958	2252.762	1440.213	1380.163	193.3761079	4.460473387	0.016535	0.000552	-91.2498	130.3333	130.3333	-91.2498	1498.003	1163.849	1163.849	1498.003	427.1182	230.6575	1021.671	1232.781				
24	3.719195	10.86611	2390.056	450.5503	2347.203	1455.101	1365.274	201.4811025	5.336138888	0.017207	0.000601	-100.435	140.4151	140.4151	-100.435	1580.789	1230.072	1230.072	1580.789	414.986	224.986	1041.534	1254.706				
25	3.562348	11.32473	2488.941	489.8892	2441.168	1470.543	1349.833	208.5469543	6.42697387	0.017896	0.000654	-111.976	150.6417	150.6417	-111.976	1623.271	1248.337	1248.337	1623.271	403.1149	218.669	1061.581	1276.768				
26	3.426383	11.78408	2589.227	523.7826	2534.657	1486.532	1333.843	217.5719245	7.39493931	0.018581	0.000708	-122.946	161.2601	161.2601	-122.946	1685.437	1290.761	1290.761	1685.437	391.5307	207.681	1081.867	1298.965				
27	3.29948	12.2442	2688.813	570.2404	2637.649	1501.057	1317.318	225.5542602	8.56710386	0.019294	0.000762	-134.347	170.773	170.773	-134.347	1747.75	1331.65	1331.65	1747.75	380.259	204.715	1102.971	1321.291				
28	3.181641	12.7054	2788.96	612.2626	2720.126	1520.167	1300.268	233.4971938	9.939788842	0.020161	0.00082	-146.178	183.66	183.66	-146.178	1808.763	1370.568	1370.568	1808.765	369.255	205.041	1123.081	1343.745				
29	3.07929	13.1669	2887.964	657.8493	2812.061	1537.673	1282.707	241.389442	11.44735311	0.020615	0.000884	-158.44	195.0353	195.0353	-158.44	1869.899	1408.942	1408.942	1869.899	358.4915	203.383	1144.018	1366.321				
30	2.969532	13.62564	2987.599	700.0005	2893.438	1555.743	1264.623	249.2277661	13.13169459	0.022284	0.000946	-171.131	207.5895	207.5895	-171.131	1930.061	1446.259	1446.259	1930.661	348.0618	201.5744	1165.157	1388.017				

α				q_1	q_2	C_{51}	C_{52}	C_{53}	C_{54}	C_{511}	C_{52}	C_{53}	C_{54}	C_{511}	C_{52}	C_{53}	C_{54}	R_h	K_h	etrange
α_1	α_2	α_3	α_4																	
-0.2494	-0.1504	-0.2845	-0.1729	0.1796	0.07845	0.06412	0.05025	0.05025	0.04412	108.75	0.007158	0.004693	0.004693	0.007158	0.004694	0.004694	0.006641	97.0956	2.53004	under
-0.5604	-0.5212	0.43076	0.19246	0.47598	0.37025	0.18144	0.14236	0.14236	0.14236	108.75	0.02964	0.01949	0.01949	0.02964	0.01887	0.01887	0.02857	46.6041	1.47384	under
-1.2329	-1.0904	0.56209	0.65597	1.01068	0.94028	0.29595	0.23872	0.23872	0.18144	108.75	0.08649	0.04576	0.04576	0.08649	0.04382	0.04382	0.07654	30.3943	0.86275	under
-1.8497	-1.6338	1.44719	1.68357	1.55970	1.49947	0.41887	0.32763	0.32763	0.23872	108.75	0.12489	0.08197	0.08197	0.12489	0.08048	0.08048	0.10785	22.4956	1.29075	under
-2.4925	-2.1340	1.90169	1.64167	2.01769	2.03846	0.54861	0.42635	0.42635	0.32763	108.75	0.19888	0.13071	0.13071	0.19888	0.13676	0.13676	0.17549	17.7549	1.1044	over
-2.9803	-2.6193	2.3179	2.12671	2.47269	2.53667	0.63406	0.52038	0.52038	0.42635	108.75	0.29488	0.19446	0.19446	0.29488	0.20805	0.20805	0.28795	12.6027	0.7667	over
-3.5166	-3.1438	2.74485	2.59338	2.99238	3.05333	0.82433	0.64129	0.64129	0.52038	108.75	0.40408	0.26284	0.26284	0.40408	0.30615	0.30615	0.38653	8.14509	0.5361	over
-4.0292	-3.5248	3.19326	3.06108	3.33080	3.35866	0.96536	0.75803	0.75803	0.64129	108.75	0.52855	0.34277	0.34277	0.52855	0.39883	0.39883	0.50802	6.0568	0.4125	over
-4.5754	-3.9583	3.71229	3.49945	3.78109	3.80057	1.11767	0.86485	0.86485	0.75803	108.75	0.67508	0.41653	0.41653	0.67508	0.47407	0.47407	0.61758	4.6178	0.3178	over
-4.99374	-4.3785	3.89057	3.92507	4.33871	4.40219	1.26208	0.97849	0.97849	0.86485	108.75	0.84122	0.54838	0.54838	0.84122	0.64083	0.64083	0.84083	3.62546	0.2003	over
-5.4683	-4.7236	4.49259	4.34656	4.58769	4.90658	1.41579	1.09485	1.09485	0.97849	108.75	1.0627	0.66878	0.66878	1.0627	0.65577	0.65577	1.0627	2.8276	0.3658	over
-5.9276	-5.19035	4.97181	4.74876	4.89323	5.3402	1.57427	1.21894	1.21894	1.41579	108.75	1.22725	0.79611	0.79611	1.22725	0.78234	0.78234	1.2303	1.56994	1.0175	over
-6.37221	-5.6902	4.95348	5.15517	5.5590	5.76289	1.72913	1.32976	1.32976	1.57427	108.75	1.44882	0.93698	0.93698	1.44882	0.91973	0.91973	1.45424	0.65975	1.07628	over
-6.81786	-5.90783	5.64002	5.46504	5.61563	6.18045	1.88923	1.44872	1.44872	1.72913	108.75	1.68836	1.07413	1.07413	1.68836	1.06751	1.06751	1.69765	0.31669	1.0769	over
-7.24387	-6.40576	5.83843	5.92945	5.96709	6.58946	2.05167	1.56708	1.56708	1.88923	108.75	1.94656	1.24838	1.24838	1.94656	1.22484	1.22484	1.98275	0.570319	1.1284	over
-7.6483	-6.72106	5.95808	6.39441	6.30358	6.98464	2.21497	1.68066	1.68066	2.05167	108.75	2.22295	1.41914	1.41914	2.22295	1.39437	1.39437	2.28862	0.53405	1.1502	over
-8.07832	-7.07329	6.19796	6.67893	6.63562	7.37507	2.38071	1.80497	1.80497	2.21497	108.75	2.51744	1.59944	1.59944	2.51744	1.57916	1.57916	2.57936	0.502885	1.1803	over
-8.48428	-7.42846	6.49716	7.02135	6.95805	7.58217	2.54702	1.92485	1.92485	2.38071	108.75	2.82935	1.78794	1.78794	2.82935	1.76523	1.76523	2.85573	0.473015	1.2028	over
-8.88351	-7.77419	6.77954	7.38532	7.27649	8.13429	2.71501	2.04159	2.04159	2.54702	108.75	3.16078	1.98548	1.98548	3.16078	1.95268	1.95268	3.19228	0.446194	1.2239	over
-9.27497	-8.12377	7.06519	7.72301	7.58754	8.50809	2.884319	2.15899	2.15899	2.71501	108.75	3.58007	2.19056	2.19056	3.58007	2.154709	2.154709	3.44085	0.425846	1.2471	over
-9.66012	-8.44562	7.25735	8.07202	7.88767	8.86411	3.04641	2.27538	2.27538	2.884319	108.75	3.87195	2.40242	2.40242	3.87195	2.36063	2.36063	3.90061	0.40528	1.2610	over
-10.03807	-8.77143	7.59239	8.40647	8.22587	9.22957	3.23937	2.39004	2.39004	3.04641	108.75	4.25545	2.62001	2.62001	4.25545	2.57523	2.57523	4.31099	0.386486	1.2793	over
-10.41134	-9.00469	7.84925	8.76238	8.46861	9.57294	3.39785	2.50499	2.50499	3.23937	108.75	4.65457	2.84503	2.84503	4.65457	2.71955	2.71955	4.71955	0.369586	1.2951	over
-10.77715	-9.20776	8.09764	9.05706	8.75021	9.91726	3.57045	2.6178	2.6178	3.39785	108.75	5.07001	3.07597	3.07597	5.07001	2.99571	2.99571	5.14572	0.353971	1.3138	over
-11.1387	-9.38358	8.38538	9.34537	9.02475	10.24635	3.74401	2.72943	2.72943	3.57045	108.75	5.50185	3.30812	3.30812	5.50185	3.22087	3.22087	5.58065	0.339546	1.3302	over
-11.4975	-10.0773	8.57196	9.68851	9.29646	10.5891	3.92188	2.83875	2.83875	3.74401	108.75	5.94047	3.54026	3.54026	5.94047	3.44066	3.44066	6.04924	0.326323	1.3463	over
-11.8461	-10.2961	8.79783	9.90705	9.49749	10.93669	4.12643	2.94623	2.94623	3.92188	108.75	6.41246	3.76938	3.76938	6.41246	3.62595	3.62595	6.60069	0.313075	1.3638	over
-12.1843	-10.3824	9.01636	10.2939	9.49012	11.2861	4.26735	3.05903	3.05903	4.12643	108.75	6.88039	4.04311	4.04311	6.88039	3.91006	3.91006	7.01884	0.304063	1.3757	over
-12.5249	-10.6442	9.27219	10.39761	9.69512	11.64128	4.44126	3.15541	3.15541	4.26735	108.75	7.38463	4.28014	4.28014	7.38463	4.14089	4.14089	7.52765	0.29357	1.39302	under
-12.8547	-11.19355	9.43028	10.67611	10.28369	11.86539	4.55634	3.25634	3.25634	4.44126	108.75	7.88078	4.47517	4.47517	7.88078	4.30388	4.30388	8.05187	0.28072	1.41925	over

δ_i	R_{res}	β	F_c	$F_c \sin \beta$	$F_c \cos \beta$	F_{θ}	F_{ϕ}	moment rolling		Moment Pitching		ψ	F_x				F_y				F_z			
								Mr	Mp	γ	F_{x1}		F_{x2}	F_{x3}	F_{x4}	F_{y1}	F_{y2}	F_{y3}	F_{y4}	F_{z1}	F_{z2}	F_{z3}	F_{z4}	
1	8.08995	0.4005	155.6138	1.22231	155.609	1267.168	1553.207	13.5572012	0.003821212	0.00141	-1.6E-05	23.42883	19.7963	19.7963	19.7963	23.42883	103.4733	84.6005	84.6005	103.4733	746.5555	613.9554	654.005	804.942
2	14.54298	0.90028	311.2726	4.88934	311.1892	1288.739	1551.636	26.71210764	0.00182445	0.00228	-1.1E-05	22.4202	20.7639	20.7639	20.7639	22.4202	205.9274	169.1367	169.1367	205.9274	719.4538	590.452	676.301	832.075
3	28.28532	1.35061	466.8413	11.0086	466.7117	1271.357	1549.018	40.0619792	0.00118456	0.00461	-2.8E-06	20.73975	22.464	20.73975	20.73975	22.464	20.73975	130.3432	253.5446	253.5446	130.3432	602.6672	699.0191	833.869
4	22.7149	1.80049	622.4551	19.5908	622.1478	1275.021	1545.354	53.0442359	0.00113543	0.00456	8.8E-06	38.388	24.1139	38.388	24.1139	38.388	43.7015	337.76	337.76	43.7015	666.2008	542.1775	721.736	885.384
5	17.8719	2.25006	778.068	30.5578	777.4486	1279.127	1540.648	66.7368027	0.00028163	0.00509	2.38E-05	15.36138	27.6296	15.36138	27.6296	15.36138	536.3831	471.7192	471.7192	536.3831	640.0598	565.7594	911.3838	
6	4.84766	2.70272	933.6827	44.0022	932.6452	1286.473	1534.902	80.05715695	0.02935722	0.006837	4.21E-05	11.66409	31.51619	11.66409	31.51619	11.66409	505.3383	505.3383	505.3383	505.3383	614.2493	492.1708	780.7277	997.055
7	12.7656	3.15307	1089.286	59.8934	1087.649	1292.255	1528.12	93.36346898	0.05944909	0.00793	6.37E-05	7.294324	35.07651	7.294324	35.07651	7.294324	588.614	588.614	588.614	588.614	723.2395	588.7744	466.5404	904.9624
8	11.3574	3.60737	1244.91	78.2291	1242.45	1300.07	1520.305	106.6504793	0.11548075	0.00918	8.86E-05	2.752391	40.89138	2.752391	40.89138	2.752391	826.1753	674.4233	674.4233	826.1753	933.6403	441.481	859.654	987.9386
9	8.89493	4.05739	1400.524	99.0072	1397.02	1308.912	1514.463	119.9185458	0.20029716	0.010241	0.000117	3.46201	46.57737	3.46201	46.57737	3.46201	928.9581	753.7232	753.7232	928.9581	538.852	144.0336	844.3368	1011.971
10	4.90859	4.50965	1556.138	122.311	1551.33	1318.776	1501.599	133.1643162	0.32265242	0.011372	0.000148	9.94859	52.0686	9.94859	52.0686	9.94859	1031.567	885.4516	885.4516	1031.567	514.4448	1071.369	870.055	1008.16
11	8.09873	4.95668	1711.752	147.8996	1705.35	1326.657	1490.718	146.3852339	0.493198877	0.012502	0.000183	16.9074	59.93802	16.9074	59.93802	16.9074	1133.984	916.5467	916.5467	1133.984	400.3338	339.8553	886.004	1059.97
12	4.24382	5.40874	1867.365	176.028	1859.052	1341.547	1478.828	159.5787838	0.72047957	0.013628	0.00022	24.6386	67.0088	24.6386	67.0088	24.6386	126.189	996.947	996.947	126.189	466.6142	331.173	92.0204	1031.355
13	6.82765	5.86085	2022.979	206.5706	2012.405	1354.439	1465.936	172.742423	1.015920837	0.014752	0.000263	33.0419	75.93723	33.0419	75.93723	33.0419	138.162	1076.592	1076.592	138.162	443.2613	304.0943	999.645	1106.349
14	6.36382	6.31904	2178.593	239.573	2165.38	1368.325	1462.05	185.8736763	1.392026941	0.015874	0.000308	42.1176	84.9307	42.1176	84.9307	42.1176	149.885	1155.421	1155.421	149.885	400.2801	275.6235	976.7816	1128.935
15	5.93963	6.76586	2324.207	275.02	2317.948	1383.197	1457.178	198.9499423	1.81885677	0.016992	0.000356	51.8635	94.55674	51.8635	94.55674	51.8635	154.136	1233.376	1233.376	154.136	397.6761	246.765	1004.46	1151.107
16	5.50782	7.218818	2489.821	312.9116	2470.079	1399.046	1421.329	212.0286858	2.439501699	0.018108	0.000408	62.2857	104.8436	62.2857	104.8436	62.2857	162.466	1310.396	1310.396	162.466	35.4545	17.5322	1032.524	1172.859
17	5.4085	7.67893	2645.644	353.2479	2621.749	1415.862	1404.513	225.0479402	3.140044795	0.019219	0.000465	73.3782	115.753	73.3782	115.753	73.3782	193.346	1386.425	1386.425	193.346	35.6205	177.9004	1000.971	1194.187
18	4.94019	8.12865	2801.048	396.0288	2772.91	1433.635	1386.74	238.0233261	3.97954722	0.020228	0.000521	85.143	127.3518	85.143	127.3518	85.143	193.866	1461.406	1461.406	193.866	33.1796	157.9071	1089.797	1215.084
19	4.68974	8.58207	2956.662	441.2345	2933.55	1452.353	1368.022	250.9545051	4.97502095	0.021432	0.000582	97.58	138.5897	97.58	138.5897	97.58	194.035	1535.281	1535.281	194.035	31.1369	177.5417	1118.997	1235.547
20	4.45428	9.03847	3112.716	488.924	3073.632	1472.06	1348.369	263.856942	6.144948485	0.022532	0.000647	110.689	152.4226	110.689	152.4226	110.689	203.833	1607.997	1607.997	203.833	290.498	36.8053	1148.567	1255.568
21	4.24238	9.49435	3279.092	539.0232	3233.126	1492.581	1327.794	276.6626547	7.506907319	0.023628	0.000716	124.471	165.9398	124.471	165.9398	124.471	243.129	1679.498	1679.498	243.129	270.2682	36.0182	1178.502	1275.143
22	4.04061	9.95949	3423.503	591.596	3372	1514.065	1306.31	289.4848413	9.082323453	0.024719	0.000787	138.925	180.0265	138.925	180.0265	138.925	282.235	1749.731	1749.731	282.235	250.4531	34.8921	1208.4	1294.267
23	3.87302	10.48919	3579.117	646.6026	3520.225	1536.445	1283.93	302.771926	10.88139598	0.025806	0.000864	154.051	194.7636	154.051	194.7636	154.051	348.864	1816.644	1816.644	348.864	2340.798	21.0579	1246.807	1312.933
24	3.71915	10.86611	3734.731	704.0512	3667.768	1559.708	1260.667	314.838902	12.95627103	0.026888	0.00094	169.849	210.1315	169.849	210.1315	169.849	368.938	1886.187	1886.187	368.938	21.0884	29.6806	1270.461	1331.337
25	3.55438	11.2427	3880.345	763.944	3814.6	1558.838	1236.536	327.446953	15.29749796	0.027964	0.010021	186.32	226.112	186.32	226.112	186.32	356.544	1952.308	1952.308	356.544	93.5501	42.1723	1250.816	1348.972
26	3.424383	11.74048	4005.958	826.2823	3960.066	1608.823	1211.552	339.9906118	17.94566047	0.029035	0.010106	202.463	242.7044	202.463	242.7044	202.463	363.686	2016.96	2016.96	363.686	175.4485	55.0023	1333.516	1366.134
27	3.29948	12.2421	4201.571	891.0648	4105.997	1634.645	1185.73	350.9187949	20.91879349	0.0301	0.010216	221.278	270.311	221.278	270.311	221.278	390.943	2004.095	2004.095	390.943	157.7895	128.166	1365.555	1382.916
28	3.18164	12.76514	4357.166	958.2919	4250.099	1661.288	1159.07	364.8578238	24.24696798	0.031159	0.010336	239.765	277.7697	239.765	277.7697	239.765	366.394	2041.95	2041.95	366.394	140.5782	162.658	1397.591	1399.212
29	3.07929	13.1669	4512.8	1027.964	4394.161	1688.737	1133.638	377.1895586	27.9503197	0.032213	0.010381	258.925	285.107	258.925	285.107	258.925	391.938	201.63	201.63	391.938	123.821	195.475	1430.615	1401.008
30	2.96552	13.6954	4668.413	1101.08	4536.949	1716.573	1103.402	389.4463322	32.16441808	0.033259	0.010495	278.757	315.094	278.757	315.094	278.757	306.676	2259.943	2259.943	306.676	87.5325	228.611	1463.666	1430.326

δ_i	$R_{0.5}$	ϵ_c	$\epsilon_2 \sin \beta$	$\epsilon_2 \cos \beta$	ϵ_{ef}	ϵ_d	Momen rolling		Momen Pitching		ψ	ϵ_s				ϵ_n				ϵ_e						
							Mr	Mp	ϵ_{s1}	ϵ_{s2}		ϵ_{s3}	ϵ_{s4}	ϵ_{n1}	ϵ_{n2}	ϵ_{n3}	ϵ_{n4}	ϵ_{e1}	ϵ_{e2}	ϵ_{e3}	ϵ_{e4}					
1	18.08395	0.45005	224.0946	1.760212	224.0877	226.287	154.008	18.84849	19.2354211	0.00792447	0.001643	-2.3E-05	24.86488	21.2233	21.2233	21.2233	21.2233	24.86488	149.0086	121.8305	149.0086	733.774	604.8054	662.5757	871.8288	
2	44.54286	0.900128	448.1892	7.04085	448.1339	1288.55	1551.825	18.84849	38.4672814	0.00378533	-0.023285	-1.4E-05	22.6731	22.6731	22.6731	22.6731	22.6731	24.9107	297.9897	243.5085	243.5085	694.7456	571.0272	694.6588	856.0243	
3	29.69532	1.350611	158.0911	67.02991	172.342	154.055	18.84849	57.69201934	57.69201934	0.00045311	-0.09297	-4.1E-06	20.9241	20.9241	20.9241	20.9241	20.9241	20.9241	446.9156	365.1217	365.1217	446.9156	656.171	536.9289	727.7168	895.5331
4	22.27149	1.800478	886.3794	28.1634	885.9359	1277.596	154.779	18.84849	76.9607065	0.00235466	-0.005568	1.27E-05	17.604	17.604	17.604	17.604	17.604	595.7597	486.3978	486.3978	595.7597	618.0576	501.5968	780.2208	933.8798	
5	17.8719	2.25006	1120.473	44.0531	1119.609	1284.379	1536.002	18.84849	96.1368311	0.00774442	0.002808	3.42E-05	13.4747	13.4747	13.4747	13.4747	13.4747	74.4914	607.3047	407.3047	407.3047	580.4128	465.8108	794.971	981.3478	
6	14.84766	2.70273	1344.558	63.36765	1343.074	1292.647	1527.728	18.84849	115.28794	0.03794398	0.009846	6.06E-05	7.92832	38.12476	7.92832	38.12476	7.92832	893.086	727.7509	727.7509	893.086	543.2439	429.501	829.2669	1008.165	
7	12.7656	3.15507	1508.662	86.29041	1506.289	1330.414	1571.961	18.84849	134.448409	0.12386544	0.01482	9.17E-05	15.0073	44.3528	15.0073	44.3528	15.0073	1041.557	607.6449	607.6449	1041.557	536.5582	392.5333	804.6574	1004.653	
8	11.13574	3.62765	1792.57	112.6536	1789.214	1315.668	1596.707	18.84849	153.383914	0.238794398	0.01377	0.000128	-5.6369	51.6258	51.6258	51.6258	51.6258	1185.75	966.8959	966.8959	1185.75	470.3633	355.064	900.2518	1000.597	
9	9.88849	4.05739	2016.851	145.272	2011.806	1326.402	1493.973	18.84849	172.690953	0.41543707	0.004748	0.000198	-3.8598	59.6139	59.6139	59.6139	59.6139	1337.764	1085.444	1085.444	1337.764	634.6665	316.949	936.6443	1115.921	
10	9.00855	4.50059	2240.946	176.0212	2234.022	1340.607	1479.768	18.84849	191.7638203	0.670387164	0.016377	0.000214	-23.0569	68.9579	68.9579	68.9579	68.9579	1485.528	1203.108	1203.108	1485.528	399.4752	278.2494	973.6291	1150.825	
11	8.089723	4.95668	2465.041	212.9857	2455.821	1356.276	1464.099	18.84849	210.8048557	1.02795379	0.018013	0.000264	-33.2221	79.0546	79.0546	79.0546	79.0546	1633.016	1319.891	1319.891	1633.016	364.7969	238.9575	1011.2	1185.093	
12	7.428289	5.40874	2689.135	253.6706	2671.163	1373.398	1446.977	18.84849	229.8047296	1.49366936	0.019626	0.000319	-44.3555	91.0077	91.0077	91.0077	91.0077	1780.198	1435.673	1435.673	1780.198	330.6391	199.093	1040.352	1218.788	
13	6.852765	5.860085	2913.23	297.4759	2898.002	1391.963	1428.412	18.84849	248.7610578	2.106778374	0.021245	0.000379	-56.4569	102.0941	102.0941	102.0941	-56.4569	1927.046	1550.367	1550.367	1927.046	297.0092	137.0092	1088.075	1251.902	
14	6.363280	6.31304	3137.324	346.0316	3118.297	1411.961	1408.414	18.84849	267.6709424	2.860784198	0.02286	0.00044	-68.5265	115.0395	115.0395	115.0395	-68.5265	2073.533	1663.886	1663.886	2073.533	263.9149	177.678	1167.234	1284.427	
15	5.93863	6.76398	3361.419	396.0478	3338.016	1433.378	1386.997	18.84849	286.5304708	3.86118688	0.02447	0.000513	-83.5642	128.3075	128.3075	128.3075	-83.5642	2219.63	1776.146	1776.146	2219.63	231.3635	170.9635	1167.234	1316.356	
16	5.567872	7.219818	3585.514	450.6144	3557.085	1456.201	1364.174	18.84849	305.3359641	5.059068807	0.02676	0.000597	-98.57	143.7198	143.7198	143.7198	-98.57	2365.308	1897.061	1897.061	2365.308	199.3628	133.8942	1207.647	1347.68	
17	5.24055	7.67892	3809.008	508.7014	3775.492	1489.418	1339.957	18.84849	324.0877264	6.511822398	0.027677	0.00666	-114.544	159.457	159.457	159.457	-114.544	2503.539	1996.548	1996.548	2503.539	167.9204	8.86555	1248.613	1378.394	
18	4.940219	8.128652	4033.703	570.3088	3993.138	1506.011	1314.364	18.84849	342.770043	8.252769883	0.029273	0.00075	-131.486	176.1346	176.1346	176.1346	-131.486	2655.294	2104.525	2104.525	2655.294	137.0459	137.0459	1290.124	1408.488	
19	4.688734	8.582037	4257.397	638.4367	4210.114	1532.967	1287.408	18.84849	361.3911794	10.31719386	0.030863	0.000839	-149.396	193.2779	193.2779	193.2779	-149.396	2799.544	2210.911	2210.911	2799.544	106.7411	-95.5903	1332.704	1437.955	
20	4.45228	9.038347	4481.892	704.085	4426.242	1561.268	1259.107	18.84849	379.9433799	12.7424631	0.032448	0.000932	-168.274	212.2384	212.2384	212.2384	-168.274	2943.267	2335.627	2335.627	2943.267	77.0962	-138.045	1347.757	1466.787	
21	4.242388	9.494345	4765.937	776.2537	4641.524	1590.897	1229.478	18.84849	398.4228661	15.5678173	0.034026	0.00103	-188.121	231.6609	231.6609	231.6609	-188.121	3066.413	2418.593	2418.593	3066.413	47.88734	-194.63	1371.864	1494.977	
22	4.04361	9.950949	4920.081	851.9428	4855.913	1621.836	1198.539	18.84849	416.828357	18.8347572	0.035598	0.001139	-208.935	251.9088	251.9088	251.9088	-208.935	3228.973	2519.734	2519.734	3228.973	19.3521	-229.909	1461.496	1522.516	
23	3.873302	10.40619	5154.176	931.1524	5069.367	1654.066	1166.309	18.84849	435.1484611	22.98857043	0.037162	0.001241	-230.718	273.2194	273.2194	273.2194	-230.718	3370.913	2618.973	2618.973	3370.913	-8.5782	-257.705	1595.64	1549.397	
24	3.719195	10.86611	5378.27	1013.82	5281.94	1687.566	1132.809	18.84849	453.3888876	26.596871554	0.03872	0.00134	-254.469	295.437	295.437	295.437	-254.469	3512.996	2716.238	2716.238	3512.996	-35.8956	-322.001	1550.292	1575.612	
25	3.56348	11.32073	5602.365	1100.133	5493.287	1722.316	1106.059	18.84849	471.577223	31.72863333	0.04027	0.001471	-277.188	318.5562	318.5562	318.5562	-277.188	3652.799	2811.458	2811.458	3652.799	-42.5921	-368.791	1595.447	1601.152	
26	3.426383	11.79408	5826.46	1189.904	5703.662	1758.295	1102.008	18.84849	489.5955823	37.21567043	0.041812	0.001593	-301.875	342.3504	342.3504	342.3504	-301.875	3792.680	2904.562	2904.562	3792.680	-46.6997	-416.6997	1641.066	1626.01	
27	3.29948	12.2421	6050.594	1283.195	5912.02	1795.48	1024.895	18.84849	507.5579931	43.381374861	0.043446	0.00172	-327.553	367.0595	367.0595	367.0595	-327.553	3931.807	2995.48	2995.48	3931.807	-114.09	-463.827	1687.235	1650.177	
28	3.185641	12.70514	6274.694	1393.073	6133.848	1833.848	996.527	18.84849	525.4204872	50.7919242	0.045082	0.001852	-354.152	392.6564	392.6564	392.6564	-354.152	4070.148	3084.148	3084.148	4070.148	-138.875	-512.095	1733.865	1673.645	
29	3.077029	13.1669	6488.93	1480.339	6327.896	1873.375	946.9995	18.84849	543.1795327	57.94607164	0.046388	0.001988	-381.744	419.519	419.519	419.519	-381.744	4197.778	3170.5	3170.5	4197.778	-163.007	-560.757	1780.954	1696.405	
30	2.96552	13.62594	6722.888	1584.191	6533.521	1914.038	936.3373	18.84849	560.826638	66.4951609	0.047896	0.00213	-401.304	444.594	444.594	444.594	-401.304	4344.539	3254.474	3254.474	4344.539	-186.476	-609.915	1828.521	1738.451	

δ_i	R_{ex}	β_c	F_c	$F_{c \sin \beta}$	$F_{c \cos \beta}$	F_θ	F_ϕ	ψ	F_e				F_n				F_i										
									F_{e1}	F_{e2}	F_{e3}	F_{e4}	F_{n1}	F_{n2}	F_{n3}	F_{n4}	F_{i1}	F_{i2}	F_{i3}	F_{i4}							
moments									moments		moments		moments		moments		moments										
									M_e	M_n	M_i	M_e	M_n	M_i	M_e	M_n	M_i										
1	80.08595	0.45005	305.0281	2.95927	305.0197	1265.246	1555.129	25.65577	26.18244308	0.002236	-3.2E-05	26.52067	22.9249	22.9249	22.9249	26.52067	22.9249	22.9249	22.9249	78.6682	994.113	672.8661	831.6666				
2	44.54286	0.900128	610.0562	9.83707	689.9809	1285.327	1552.048	25.65577	52.38003947	0.00708943	0.00472	24.0029	24.0029	24.0029	24.0029	24.0029	24.0029	24.0029	24.0029	65.5444	584.0821	716.5831	884.0399				
3	29.69532	1.350631	915.0843	1273.459	1546.916	25.65577	78.52794097	0.000545	0.00765	-5.0E-06	21.9102	28.19128	28.19128	28.19128	28.19128	21.9102	28.19128	28.19128	28.19128	613.0883	391.1903	780.8791	938.1664				
4	22.27149	1.800476	1220.112	18.33483	1219.51	1286.639	159.736	25.65577	104.6812944	0.003425398	0.00894	1.7E-05	16.67886	32.7937	32.7937	16.67886	810.9216	62.0641	62.0641	810.9216	561.16	453.464	806.775	991.7439			
5	17.8719	2.200612	1525.141	99.88817	1524.864	1288.864	1538.511	25.65577	130.8152501	0.00181955	0.01172	4.48E-05	10.74884	38.70883	38.70883	10.74884	1013.37	826.6376	826.6376	1013.37	599.9194	404.8389	852.9384	1004.726			
6	14.84766	2.702173	1830.169	86.2537	1828.135	1301.127	1519.248	25.65577	156.9249403	0.00061508	0.03402	8.24E-05	3.501261	45.93504	45.93504	3.501261	1215.631	990.3838	1215.631	990.3838	1215.631	990.3838	1215.631	459.3266	355.4531	899.7595	1097.404
7	12.7866	3.159007	2135.197	117.4004	2131.967	1314.421	1505.954	25.65577	209.0520447	0.000259	0.00529	5.94E-04	54.7022	54.7022	54.7022	5.94E-04	147.666	1153.778	147.666	1153.778	147.666	1153.778	147.666	489.3917	385.0487	979.794	1149.766
8	11.13574	3.620737	2440.225	133.3933	2435.402	1323.739	1490.636	25.65577	289.0520447	0.000173	0.00174	0.000173	14.9174	64.11951	64.11951	14.9174	1619.638	1316.088	1619.638	1316.088	1619.638	1316.088	1619.638	254.1146	996.2071	1201.803	
9	9.88849	4.05739	2745.253	194.0701	2738.385	1347.072	1473.303	25.65577	335.0586918	0.000129	0.00029	26.4483	75.45738	75.45738	26.4483	1820.908	1477.419	1820.908	1477.419	1820.908	1477.419	1820.908	1477.419	395.737	1253.594		
10	9.008595	4.500595	3050.281	239.927	3040.857	1366.407	1453.968	25.65577	761.0235382	0.000129	0.00232	38.6671	87.9304	87.9304	38.6671	2022.089	1637.62	2022.089	1637.62	2022.089	1637.62	2022.089	1637.62	783.648	498.5517	1064.079	1394.86
11	8.089723	4.95668	3355.309	289.9072	3342.761	1387.735	1452.64	25.65577	286.9386694	0.000095	0.00359	52.0355	101.5644	101.5644	52.0355	2222.792	1796.579	2222.792	1796.579	2222.792	1796.579	2222.792	2222.792	216.4322	96.0753	1147.22	1355.861
12	7.428289	5.40874	3660.337	345.0135	3644.041	1411.041	1480.334	25.65577	312.8001553	0.000074	0.00674	67.6758	116.8825	116.8825	67.6758	2423.13	1954.177	2423.13	1954.177	2423.13	1954.177	2423.13	2423.13	169.938	4.81347	1199.15	1486.495
13	6.852765	5.86005	3965.365	404.9116	3944.638	1456.312	1504.063	25.65577	338.6703042	0.000061	0.00817	84.1298	133.0074	133.0074	84.1298	2623.014	2110.294	2623.014	2110.294	2623.014	2110.294	2623.014	2623.014	124.1624	-13.2253	1251.863	1456.753
14	6.363280	6.313044	4270.394	469.6017	4204.495	1463.531	1556.844	25.65577	364.3423858	0.000045	0.01115	0.00004	101.92	150.615	150.615	101.92	2822.046	2284.812	2822.046	2284.812	2822.046	2284.812	2822.046	79.11576	46.0336	1305.35	1536.625
15	5.938631	6.766388	4575.422	539.0835	4543.553	1491.683	1527.692	25.65577	390.013795	0.000038	0.00698	121.027	169.5947	169.5947	121.027	3021.267	2471.615	3021.267	2471.615	3021.267	2471.615	3021.267	3021.267	34.80829	-125.6	1359.604	1556.1
16	5.567872	7.219818	4880.45	613.3573	4841.754	1523.75	1596.625	25.65577	415.6104231	0.00003	0.009494	0.0008	141.453	189.6666	189.6666	141.453	3219.538	2588.388	3219.538	2588.388	3219.538	2588.388	3219.538	8.7497	182.919	1414.615	1605.168
17	5.24055	7.678929	5185.078	693.4229	5139.04	1556.712	1635.663	25.65577	441.129886	0.000023	0.00793	0.00807	163.295	211.0861	211.0861	163.295	3477.24	2717.617	3477.24	2717.617	3477.24	2717.617	3477.24	51.5478	-240.98	1470.376	1653.818
18	4.940219	8.128652	5490.366	776.2803	5435.351	1591.549	1628.826	25.65577	466.5441108	0.000015	0.008273	0.00965	186.259	233.7882	233.7882	186.259	3614.274	2864.591	3614.274	2864.591	3614.274	2864.591	3614.274	93.5756	299.776	1526.879	1702.04
19	4.688734	8.582037	5795.534	864.9296	5739.629	1628.34	1592.135	25.65577	491.9104155	0.000014	0.00814	0.00914	210.635	257.7354	257.7354	210.635	3810.621	3009.399	3810.621	3009.399	3810.621	3009.399	3810.621	134.823	359.207	1584.116	1749.823
20	4.454286	9.038347	6101.562	958.3707	6024.834	1666.762	1153.613	25.65577	517.1628875	0.000016	0.00289	248.331	302.9511	302.9511	248.331	4036.24	3151.933	4036.24	3151.933	4036.24	3151.933	4036.24	4036.24	175.728	449.535	1542.077	1971.158
21	4.242188	9.494345	6405.59	1056.046	6317.846	1707.092	1113.283	25.65577	542.3163839	0.000013	0.004315	0.004315	362.345	300.3892	300.3892	362.345	4201.095	3202.086	4201.095	3202.086	4201.095	3202.086	4201.095	214.932	480.481	1700.756	1894.023
22	4.04861	9.950498	6710.018	1159.029	6609.664	1749.205	1071.17	25.65577	567.3657292	0.000014	0.00484	0.00543	391.677	337.0391	337.0391	391.677	4395.142	3429.755	4395.142	3429.755	4395.142	3429.755	4395.142	253.773	542.126	1780.143	1880.486
23	3.873002	10.40619	7015.647	1267.445	6900.209	1793.074	1027.301	25.65577	592.3057133	0.000016	0.00594	0.00689	421.37	365.98	365.98	421.37	4588.34	3564.836	4588.34	3564.836	4588.34	3564.836	4588.34	291.79	604.461	1801.23	1936.359
24	3.711915	10.86611	7320.075	1380.054	7189.418	1838.673	981.7019	25.65577	617.1310895	0.000014	0.00704	0.00844	452.294	396.656	396.656	452.294	4780.653	3697.23	4780.653	3697.23	4780.653	3697.23	4780.653	478.674	680.481	1881.981	1981.789
25	3.563481	11.32073	7625.703	1497.654	7477.23	1885.974	934.4013	25.65577	644.8385723	0.000012	0.00842	0.00942	484.579	427.7342	427.7342	484.579	4972.068	3866.839	4972.068	3866.839	4972.068	3866.839	4972.068	365.312	731.167	1942.471	2026.716
26	3.426283	11.79408	7930.731	1619.647	7765.594	1934.946	885.4285	25.65577	666.4168359	0.000018	0.00216	0.00216	513.82	459.88	459.88	513.82	5162.49	3953.567	5162.49	3953.567	5162.49	3953.567	5162.49	400.794	765.515	2064.61	2071.129
27	3.29048	12.24021	8235.759	1746.051	8048.416	1985.561	834.8139	25.65577	690.8665111	0.000014	0.00901	0.00941	453.101	493.026	493.026	453.101	5351.85	4077.321	5351.85	4077.321	5351.85	4077.321	5351.85	435.405	860.325	2087.41	2115.07
28	3.181641	12.70514	8540.787	1878.407	8331.665	2037.766	782.5887	25.65577	715.1801839	0.000015	0.00951	0.00951	483.625	528.3065	528.3065	483.625	5540.198	4198.011	5540.198	4198.011	5540.198	4198.011	5540.198	469.145	926.176	2130.861	2138.368
29	3.071029	13.1669	8845.815	2014.974	8613.264	2091.589	728.7856	25.65577	739.3529308	0.000016	0.00706	0.00706	564.577	564.577	564.577	564.577	564.577	564.577	564.577	564.577	564.577	564.577	564.577	501.992	992.467	2194.976	2201.177
30	2.965521	13.62564	9150.043	2156.334	8883.152	2146.937	673.4379	25.65577	763.3776264	0.000089	0.00594	0.00594	565.771	601.808	601.808	565.771	5913.563	4429.852	5913.563	4429.852	5913.563	4429.852	5913.563	1059.37	729.723	2243.416	

a				q ₁	q ₂	q ₃	q ₄	C ₁₂	C ₁₃	C ₁₄	C ₂₂	C ₂₃	C ₂₄	C ₃₃	C ₃₄	C ₄₄	C ₅₅	C ₆₆	C ₇₇	C ₈₈	C ₉₉	C ₁₀₁₀	C ₁₁₁₁	C ₁₂₁₂	C ₁₃₁₃	C ₁₄₁₄	C ₂₃₂₃	C ₂₄₂₄	C ₃₄₃₄	C ₄₅₄₅	C ₅₆₅₆	C ₆₇₆₇	C ₇₈₇₈	C ₈₉₈₉	C ₉₁₀₁₀	C ₁₀₁₁₁₀	C ₁₁₁₂₁₁	C ₁₂₁₃₁₂	C ₁₃₁₄₁₃	C ₁₄₁₅₁₄	C ₂₃₂₄₂₃	C ₂₄₂₅₂₄	C ₃₄₃₅₃₄	C ₄₅₃₆₃₅	C ₅₆₃₇₃₆	C ₆₇₃₈₃₇	C ₇₈₃₉₃₈	C ₈₉₄₀₃₉	C ₉₁₀₁₁₁₀	C ₁₀₁₁₁₂₁₁	C ₁₁₁₃₁₂₁₁	C ₁₂₁₄₁₃₁₂	C ₁₃₁₅₁₄₁₃	C ₁₄₁₆₁₅₁₄	C ₂₃₂₆₂₃	C ₂₄₂₇₂₄	C ₃₄₂₈₂₃	C ₄₅₂₉₂₄	C ₅₆₃₀₂₅	C ₆₇₃₁₂₆	C ₇₈₃₂₂₇	C ₈₉₃₃₂₈	C ₉₁₀₁₂₁₁	C ₁₀₁₁₁₃₁₂	C ₁₁₁₄₁₃₁₃	C ₁₂₁₅₁₄₁₄	C ₁₃₁₆₁₅₁₅	C ₁₄₁₇₁₆₁₆	C ₂₃₂₉₂₃	C ₂₄₃₀₂₄	C ₃₄₃₁₂₅	C ₄₅₃₂₂₆	C ₅₆₃₃₂₇	C ₆₇₃₄₂₈	C ₇₈₃₅₂₉	C ₈₉₃₆₃₀	C ₉₁₀₁₃₁₂	C ₁₀₁₁₁₄₁₃	C ₁₁₁₅₁₄₁₄	C ₁₂₁₆₁₅₁₅	C ₁₃₁₇₁₆₁₆	C ₁₄₁₈₁₇₁₇	C ₂₃₃₂₂₃	C ₂₄₃₃₂₄	C ₃₄₃₄₂₅	C ₄₅₃₅₂₆	C ₅₆₃₆₂₇	C ₆₇₃₇₂₈	C ₇₈₃₈₂₉	C ₈₉₃₉₃₀	C ₉₁₀₁₄₁₃	C ₁₀₁₁₁₅₁₄	C ₁₁₁₆₁₅₁₅	C ₁₂₁₇₁₆₁₆	C ₁₃₁₈₁₇₁₇	C ₁₄₁₉₁₈₁₈	C ₂₃₃₅₂₃	C ₂₄₃₆₂₄	C ₃₄₃₇₂₅	C ₄₅₃₈₂₆	C ₅₆₃₉₂₇	C ₆₇₄₀₂₈	C ₇₈₄₁₂₉	C ₈₉₄₂₃₀	C ₉₁₀₁₅₁₄	C ₁₀₁₁₁₆₁₅	C ₁₁₁₇₁₆₁₆	C ₁₂₁₈₁₇₁₇	C ₁₃₁₉₁₈₁₈	C ₁₄₂₀₁₉₁₉	C ₂₃₄₀₂₃	C ₂₄₄₁₂₄	C ₃₄₄₂₂₅	C ₄₅₄₃₂₆	C ₅₆₄₄₂₇	C ₆₇₄₅₂₈	C ₇₈₄₆₂₉	C ₈₉₄₇₃₀	C ₉₁₀₁₆₁₅	C ₁₀₁₁₁₇₁₆	C ₁₁₁₈₁₇₁₇	C ₁₂₁₉₁₈₁₈	C ₁₃₂₀₁₉₁₉	C ₁₄₂₁₂₀₂₀	C ₂₃₄₅₂₃	C ₂₄₄₆₂₄	C ₃₄₄₇₂₅	C ₄₅₄₈₂₆	C ₅₆₄₉₂₇	C ₆₇₅₀₂₈	C ₇₈₅₁₂₉	C ₈₉₅₂₃₀	C ₉₁₀₁₇₁₆	C ₁₀₁₁₁₈₁₇	C ₁₁₁₉₁₈₁₈	C ₁₂₂₀₁₉₁₉	C ₁₃₂₁₂₀₂₀	C ₁₄₂₂₂₁₂₁	C ₂₃₅₀₂₃	C ₂₄₅₁₂₄	C ₃₄₅₂₂₅	C ₄₅₅₃₂₆	C ₅₆₅₄₂₇	C ₆₇₅₅₂₈	C ₇₈₅₆₂₉	C ₈₉₅₇₃₀	C ₉₁₀₁₈₁₇	C ₁₀₁₁₁₉₁₈	C ₁₁₂₀₁₉₁₉	C ₁₂₂₁₂₀₂₀	C ₁₃₂₂₂₁₂₁	C ₁₄₂₃₂₂₂₂	C ₂₃₅₅₂₃	C ₂₄₅₆₂₄	C ₃₄₅₇₂₅	C ₄₅₅₈₂₆	C ₅₆₅₉₂₇	C ₆₇₆₀₂₈	C ₇₈₆₁₂₉	C ₈₉₆₂₃₀	C ₉₁₀₁₉₁₈	C ₁₀₁₁₂₀₁₉	C ₁₁₂₁₂₀₂₀	C ₁₂₂₂₂₁₂₁	C ₁₃₂₃₂₂₂₂	C ₁₄₂₄₂₃₂₃	C ₂₃₆₀₂₃	C ₂₄₆₁₂₄	C ₃₄₆₂₂₅	C ₄₅₆₃₂₆	C ₅₆₆₄₂₇	C ₆₇₆₅₂₈	C ₇₈₆₆₂₉	C ₈₉₆₇₃₀	C ₉₁₀₂₀₁₉	C ₁₀₁₁₂₁₂₀	C ₁₁₂₂₂₁₂₁	C ₁₂₂₃₂₂₂₂	C ₁₃₂₄₂₃₂₃	C ₁₄₂₅₂₄₂₄	C ₂₃₆₅₂₃	C ₂₄₆₆₂₄	C ₃₄₆₇₂₅	C ₄₅₆₈₂₆	C ₅₆₆₉₂₇	C ₆₇₇₀₂₈	C ₇₈₇₁₂₉	C ₈₉₇₂₃₀	C ₉₁₀₂₁₂₀	C ₁₀₁₁₂₂₂₁	C ₁₁₂₃₂₂₂₂	C ₁₂₂₄₂₃₂₃	C ₁₃₂₅₂₄₂₄	C ₁₄₂₆₂₅₂₅	C ₂₃₇₀₂₃	C ₂₄₇₁₂₄	C ₃₄₇₂₂₅	C ₄₅₇₃₂₆	C ₅₆₇₄₂₇	C ₆₇₇₅₂₈	C ₇₈₇₆₂₉	C ₈₉₇₇₃₀	C ₉₁₀₂₂₂₁	C ₁₀₁₁₂₃₂₂	C ₁₁₂₄₂₃₂₃	C ₁₂₂₅₂₄₂₄	C ₁₃₂₆₂₅₂₅	C ₁₄₂₇₂₆₂₆	C ₂₃₇₅₂₃	C ₂₄₇₆₂₄	C ₃₄₇₇₂₅	C ₄₅₇₈₂₆	C ₅₆₇₉₂₇	C ₆₇₈₀₂₈	C ₇₈₈₁₂₉	C ₈₉₈₂₃₀	C ₉₁₀₂₃₂₂	C ₁₀₁₁₂₄₂₃	C ₁₁₂₅₂₄₂₄	C ₁₂₂₆₂₅₂₅	C ₁₃₂₇₂₆₂₆	C ₁₄₂₈₂₇₂₇	C ₂₃₈₀₂₃	C ₂₄₈₁₂₄	C ₃₄₈₂₂₅	C ₄₅₈₃₂₆	C ₅₆₈₄₂₇	C ₆₇₈₅₂₈	C ₇₈₈₆₂₉	C ₈₉₈₇₃₀	C ₉₁₀₂₄₂₃	C ₁₀₁₁₂₅₂₄	C ₁₁₂₆₂₅₂₅	C ₁₂₂₇₂₆₂₆	C ₁₃₂₈₂₇₂₇	C ₁₄₂₉₂₈₂₈	C ₂₃₈₅₂₃	C ₂₄₈₆₂₄	C ₃₄₈₇₂₅	C ₄₅₈₈₂₆	C ₅₆₈₉₂₇	C ₆₇₉₀₂₈	C ₇₈₉₁₂₉	C ₈₉₉₂₃₀	C ₉₁₀₂₅₂₄	C ₁₀₁₁₂₆₂₅	C ₁₁₂₇₂₆₂₆	C ₁₂₂₈₂₇₂₇	C ₁₃₂₉₂₈₂₈	C ₁₄₃₀₂₉₂₉	C ₂₃₉₀₂₃	C ₂₄₉₁₂₄	C ₃₄₉₂₂₅	C ₄₅₉₃₂₆	C ₅₆₉₄₂₇	C ₆₇₉₅₂₈	C ₇₈₉₆₂₉	C ₈₉₉₇₃₀	C ₉₁₀₂₆₂₅	C ₁₀₁₁₂₇₂₆	C ₁₁₂₈₂₇₂₇	C ₁₂₂₉₂₈₂₈	C ₁₃₃₀₂₉₂₉	C ₁₄₃₁₃₀₃₀	C ₂₃₉₅₂₃	C ₂₄₉₆₂₄	C ₃₄₉₇₂₅	C ₄₅₉₈₂₆	C ₅₆₉₉₂₇	C ₆₇₀₀₂₉	C ₇₈₀₁₃₀	C ₈₉₀₂₃₁	C ₉₁₀₂₇₂₆	C ₁₀₁₁₂₈₂₇	C ₁₁₂₉₂₈₂₈	C ₁₂₃₀₂₉₂₉	C ₁₃₃₁₃₀₃₀	C ₁₄₃₂₃₁₃₁	C ₂₃₀₀₂₃	C ₂₄₀₁₂₄	C ₃₄₀₂₂₅	C ₄₅₀₃₂₆	C ₅₆₀₄₂₇	C ₆₇₀₅₂₈	C ₇₈₀₆₂₉	C ₈₉₀₇₃₁	C ₉₁₀₂₈₂₇	C ₁₀₁₁₂₉₂₈	C ₁₁₃₀₂₉₂₉	C ₁₂₃₁₃₀₃₀	C ₁₃₃₂₃₁₃₁	C ₁₄₃₃₃₂₃₂	C ₂₃₀₅₂₃	C ₂₄₀₆₂₄	C ₃₄₀₇₂₅	C ₄₅₀₈₂₆	C ₅₆₀₉₂₇	C ₆₇₁₀₂₉	C ₇₈₁₁₃₀	C ₈₉₁₂₃₁	C ₉₁₀₂₉₂₈	C ₁₀₁₁₃₀₂₉	C ₁₁₃₁₃₀₃₀	C ₁₂₃₂₃₁₃₁	C ₁₃₃₃₃₂₃₂	C ₁₄₃₄₃₃₃₃	C ₂₃₁₀₂₃	C ₂₄₁₁₂₄	C ₃₄₁₂₂₅	C ₄₅₁₃₂₆	C ₅₆₁₄₂₇	C ₆₇₁₅₂₈	C ₇₈₁₆₂₉	C ₈₉₁₇₃₁	C ₉₁₀₃₀₂₉	C ₁₀₁₁₃₁₃₀	C ₁₁₃₂₃₁₃₁	C ₁₂₃₃₃₂₃₂	C ₁₃₃₄₃₃₃₃	C ₁₄₃₅₃₄₃₄	C ₂₃₁₅₂₃	C ₂₄₁₆₂₄	C ₃₄₁₇₂₅	C ₄₅₁₈₂₆	C ₅₆₁₉₂₇	C ₆₇₂₀₂₉	C ₇₈₂₁₃₀	C ₈₉₂₂₃₁	C ₉₁₀₃₁₃₀	C ₁₀₁₁₃₂₃₁	C ₁₁₃₃₃₂₃₂	C ₁₂₃₄₃₃₃₃	C ₁₃₃₅₃₄₃₄	C ₁₄₃₆₃₅₃₅	C ₂₃₂₀₂₃	C ₂₄₂₁₂₄	C ₃₄₂₂₂₅	C ₄₅₂₃₂₆	C ₅₆₂₄₂₇	C ₆₇₂₅₂₈	C ₇₈₂₆₂₉	C ₈₉₂₇₃₁	C ₉₁₀₃₂₃₁	C ₁₀₁₁₃₃₃₂	C ₁₁₃₄₃₃₃₃	C ₁₂₃₅₃₄₃₄	C ₁₃₃₆₃₅₃₅	C ₁₄₃₇₃₆₃₆	C ₂₃₂₅₂₃	C ₂₄₂₆₂₄	C ₃₄₂₇₂₅	C ₄₅₂₈₂₆	C ₅₆₂₉₂₇	C ₆₇₃₀₂₉	C ₇₈₃₁₃₀	C ₈₉₃₂₃₁	C ₉₁₀₃₃₃₂	C ₁₀₁₁₃₄₃₃	C ₁₁₃₅₃₄₃₄	C ₁₂₃₆₃₅₃₅	C ₁₃₃₇₃₆₃₆	C ₁₄₃₈₃₇₃₇	C ₂₃₃₀₂₃	C ₂₄₃₁₂₄	C ₃₄₃₂₂₅	C ₄₅₃₃₂₆	C ₅₆₃₄₂₇	C ₆₇₃₅₂₈	C ₇₈₃₆₂₉	C ₈₉₃₇₃₁	C ₉₁₀₃₄₃₃	C ₁₀₁₁₃₅₃₄	C ₁₁₃₆₃₅₃₅	C ₁₂₃₇₃₆₃₆	C ₁₃₃₈₃₇₃₇	C ₁₄₃₉₃₈₃₈	C ₂₃₃₅₂₃	C ₂₄₃₆₂₄	C ₃₄₃₇₂₅	C ₄₅₃₈₂₆	C ₅₆₃₉₂₇	C ₆₇₄₀₂₉	C ₇₈₄₁₃₀	C ₈₉₄₂₃₁	C ₉₁₀₃₅₃₄	C ₁₀₁₁₃₆₃₅	C ₁₁₃₇₃₆₃₆	C ₁₂₃₈₃₇₃₇	C ₁₃₃₉₃₈₃₈	C ₁₄₄₀₃₉₃₉	C ₂₃₄₀₂₃	C ₂₄₄₁₂₄	C ₃₄₄₂₂₅	C ₄₅₄₃₂₆	C ₅₆₄₄₂₇	C ₆₇₄₅₂₈	C ₇₈₄₆₂₉	C ₈₉₄₇₃₁	C ₉₁₀₃₆₃₅	C ₁₀₁₁₃₇₃₆	C ₁₁₃₈₃₇₃₇	C ₁₂₃₉₃₈₃₈	C ₁₃₄₀₃₉₃₉	C ₁₄₄₁₄₀₄₀	C ₂₃₄₅₂₃	C ₂₄₄₆₂₄	C ₃₄₄₇₂₅	C ₄₅₄₈₂₆	C ₅₆₄₉₂₇	C ₆₇₅₀₂₉	C ₇₈₅₁₃₀	C ₈₉₅₂₃₁	C ₉₁₀₃₇₃₆	C ₁₀₁₁₃₈₃₇	C ₁₁₃₉₃₈₃₈	C ₁₂₄₀₃₉₃₉	C ₁₃₄₁₄₀₄₀	C ₁₄₄₂₄₁₄₁	C ₂₃₅₀₂₃	C ₂₄₅₁₂₄	C ₃₄₅₂₂₅	C ₄₅₅₃₂₆	C ₅₆₅₄₂₇	C ₆₇₅₅₂₈	C ₇₈₅₆₂₉	C ₈₉₅₇₃₁	C ₉₁₀₃₈₃₇	C ₁₀₁₁₃₉₃₈	C ₁₁₄₀₃₉₃₉	C ₁₂₄₁₄₀₄₀	C ₁₃₄₂₄₁₄₁	C ₁₄₄₃₄₂₄₂	C ₂₃₅₅₂₃	C ₂₄₅₆₂₄	C ₃₄₅₇₂₅	C ₄₅₅₈₂₆	C ₅₆₅₉₂₇	C ₆₇₆₀₂₉	C ₇₈₆₁₃₀	C ₈₉₆₂₃₁	C ₉₁₀₃₉₃₈	C ₁₀₁₁₄₀₃₉	C ₁₁₄₁₄₀₄₀	C ₁₂₄₂₄₁₄₁	C ₁₃₄₃₄₂₄₂	C ₁₄₄₄₄₃₄₃	C ₂₃₆₀₂₃	C ₂₄₆₁₂₄	C ₃₄₆₂₂₅	C ₄₅₆₃
---	--	--	--	----------------	----------------	----------------	----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	--------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	---------------------	---------------------	---------------------	-------------------

δ_i	R_{90}	β	$F_x \sin \beta$	$F_x \cos \beta$	F_{θ}	F_{ψ}	F_{ϕ}	moon rolling	Momen Pitching		γ	ψ	F_x			F_y			F_z				
									M_p	M_r			F_{x1}	F_{x2}	F_{x3}	F_{y1}	F_{y2}	F_{y3}	F_{z1}	F_{z2}	F_{z3}		
1	80.0055	0.45005	398.3426	3.128891	398.3303	1266.078	1551.004	33.50441	34.1920058	0.02039091	0.00292	-4.1E-05	25.51887	24.89669	8.86669	26.51887	26.48752	216.5616	264.8725	708.8236	381.7337	684.3442	842.147
2	44.54208	0.900128	795.6852	12.51556	796.5869	1620.996	1546.169	33.50441	68.3780776	0.01159463	0.0094	-2.9E-05	25.93753	27.4738	5.59753	528.6959	429.9588	432.9588	631.8761	521.6206	941.7538	94.293	
3	29.69352	1.350018	1195.028	28.16002	1194.696	1259.916	1501.567	33.50441	102.5512822	0.0077517	0.008798	-7.1E-06	31.78617	21.6331	794.4213	649.0273	649.0273	794.4213	563.3073	460.3837	793.3232	987.2955	
4	22.27149	1.800478	1593.37	50.06236	1592.594	1256.837	1556.619	33.50441	136.7054966	0.00744013	0.010165	2.25E-05	15.61219	37.7857	37.7857	1059	864.6034	864.6034	1059	495.5588	398.0338	858.8034	1061.061
5	17.81719	2.250068	1991.713	78.22228	1994.176	1253.761	1564.327	33.50441	170.843738	0.05426669	0.01495	6.08E-05	7.888186	45.5029	45.5029	1.78881	1333.381	1079.521	1333.381	428.6421	394.5819	919.781	1135.085
6	14.84766	2.701273	2390.056	112.6401	2387.4	1250.607	1573.68	33.50441	204.931565	0.16994787	0.017501	0.001008	-1.59071	54.9012	94.4002	1.59671	1587.538	1293.624	1293.624	363.572	270.0888	980.465	1211.118
7	12.72656	3.151907	2908.395	153.3157	2794.18	1247.617	1594.707	33.50441	239.907112	0.38955262	0.0204	0.00161	-12.7825	66.0638	66.0638	-12.7825	1851.36	1506.743	1506.743	297.3609	204.453	1043.202	1287.346
8	11.13574	3.602737	3386.741	200.2489	3180.443	1244.551	1597.375	33.50441	277.0054419	0.75452767	0.02315	0.00027	-25.6892	78.9388	78.9388	-25.6892	2118.857	1718.712	1718.712	211.857	233.0221	137.7232	1364.557
9	9.88849	4.05379	3985.085	253.4402	3576.114	1241.489	1611.705	33.50441	306.969727	1.31369215	0.02626	0.00029	-40.3167	93.6936	93.6936	-40.3167	2277.962	1929.393	1929.393	237.962	169.5897	97.0765	1442.137
10	8.90859	4.505095	3983.426	312.8891	3971.119	1238.433	1627.687	33.50441	340.8761094	2.118240616	0.02911	0.00038	-56.6552	109.7475	109.7475	-56.6552	2640.623	2138.602	2138.602	307.044	171.931	123.762	1520.673
11	8.08673	4.95668	4381.769	376.5958	4365.302	1235.302	1645.323	33.50441	374.7192157	3.231762712	0.03202	0.000469	-74.7345	127.6948	127.6948	-74.7345	2902.791	2346.191	2346.191	45.3706	-88.6646	130.047	1599.952
12	7.42829	5.48874	4780.111	450.5603	4758.03	1232.338	1664.613	33.50441	408.4022716	4.72019352	0.04086	0.00057	-94.5348	147.3307	147.3307	-94.5348	3164.446	2557.001	2557.001	155.001	-316.446	-15.467	137.864
13	6.82765	5.86005	5178.454	528.7826	5154.385	1225.301	1685.558	33.50441	442.188811	6.65862097	0.03764	0.00074	-116.036	168.6498	168.6498	-116.036	3425.449	2757.877	2757.877	3425.449	-75.1259	-211.403	170.684
14	6.383202	6.313044	5576.796	613.2626	5542.975	1224.271	1708.158	33.50441	475.8023495	9.12147468	0.04054	0.00078	-138.268	191.6458	191.6458	-138.268	3685.839	2957.665	2957.665	3685.839	-133.95	-284.282	184.111
15	5.99863	6.76398	5975.139	704.0005	5933.521	1222.249	1724.417	33.50441	509.5263765	12.2000714	0.04349	0.00082	-164.221	216.3123	216.3123	-164.221	3945.535	3157.214	3157.214	3945.535	-191.835	-358.155	192.227
16	5.59071	7.19818	6373.462	800.9951	6322.948	1220.236	1758.31	33.50441	542.754328	15.9852742	0.04632	0.00104	-190.895	242.6422	242.6422	-190.895	4204.488	3354.373	3354.373	4204.488	-246.69	-433.008	200.719
17	5.2405	7.73982	6771.824	904.2495	6711.18	1217.23	1785.883	33.50441	576.0797083	21.756534	0.04918	0.00105	-219.289	270.6279	270.6279	-219.289	4462.645	3548.993	3548.993	4462.645	-304.9	-508.831	200.472
18	4.96219	8.12852	7170.167	1013.761	7098.139	1214.237	1815.099	33.50441	609.2959403	26.0765892	0.05205	0.00134	-249.405	300.2615	300.2615	-249.405	4719.956	3740.93	3740.93	4719.956	-359.45	-585.615	2174.574
19	4.68874	8.59327	7588.59	1129.51	7483.749	1211.254	1845.971	33.50441	642.3961102	33.59962013	0.05482	0.00149	-281.241	331.5346	331.5346	-281.241	4975.37	3930.037	3930.037	4975.37	-413.3	-663.345	2259.31
20	4.46208	9.03847	7966.852	1251.556	7867.931	1208.281	1878.464	33.50441	675.738421	40.3626948	0.05768	0.00157	-314.799	364.4383	364.4383	-314.799	5231.835	4116.175	4116.175	5231.835	-466.172	-742.011	2344.667
21	4.242188	9.494345	8385.195	1379.841	8250.671	1205.32	1912.675	33.50441	708.2223971	49.1030333	0.06048	0.00163	-350.077	398.93	398.93	-350.077	5496.286	4299.205	4299.205	5496.286	-517.956	-821.601	2430.613
22	4.04951	9.93049	8763.537	1514.383	8631.699	1202.37	1948.508	33.50441	740.947942	58.5178021	0.06327	0.002015	-387.076	435.0991	435.0991	-387.076	5793.708	4478.908	4478.908	5793.708	-568.679	-902.105	2517.088
23	3.873202	10.40819	9161.88	1655.183	9011.127	1199.435	1985.996	33.50441	773.504316	68.8890321	0.06609	0.00206	-425.796	473.8861	473.8861	-425.796	5992.011	4655.394	4655.394	5992.011	-618.327	-983.51	2582.946
24	3.719195	10.86611	9590.22	1802.241	9388.81	1196.513	2025.337	33.50441	805.934401	84.8880321	0.06887	0.00246	-466.237	512.1633	512.1633	-466.237	6243.155	4828.29	4828.29	6243.155	-666.886	-1065.8	2692.023
25	3.56348	11.32073	9983.365	1955.557	9764.672	1193.665	2065.932	33.50441	838.1878174	100.335884	0.07158	0.002615	-508.399	553.0695	553.0695	-508.399	6493.066	4997.549	4997.549	6493.066	-714.34	-1148.96	2780.733
26	3.426383	11.79408	10356.91	2115.13	10138.63	1190.711	2108.381	33.50441	870.2876982	117.5916692	0.07424	0.00282	-552.282	595.543	595.543	-552.282	6741.75	5163.055	5163.055	6741.75	-760.677	-1233.02	2869.059
27	3.29948	12.24421	10755.25	2280.92	10510.6	1187.833	2152.484	33.50441	902.270409	137.075664	0.07761	0.00307	-597.885	639.5717	639.5717	-597.885	6980.093	5324.699	5324.699	6980.093	-805.882	-1317.91	2955.746
28	3.185641	12.70514	11095.25	2453.051	10880.5	1184.975	2198.241	33.50441	933.9887753	158.8886815	0.07976	0.00332	-646.21	685.143	685.143	-646.21	7235.061	5482.71	5482.71	7235.061	-869.99	-1403.64	2988.615
29	3.07059	13.1669	11551.94	2631.397	11248.24	1182.126	2245.651	33.50441	965.5557698	188.1528497	0.082498	0.00354	-694.255	7479.596	7479.596	-694.255	7695.567	5635.567	5635.567	7695.567	-897.834	-1499.21	3138.405
30	2.96952	13.62564	11950.28	2816.02	11613.75	1179.297	2294.715	33.50441	996.5106044	220.107103	0.085138	0.003785	-745.021	780.8608	780.8608	-745.021	7722.645	5785.037	5785.037	7722.645	-934.553	-1575.98	2756.888

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari analisa yang telah dilakukan, dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut.

1. Didapatkan grafik Kus VS Radius dan Kus VS δ_f pada setiap variasi posisi titik berat dan diperoleh hasil analisa sebagai berikut :
 - a. Berdasarkan hasil analisa dari ketiga posisi titik berat 50:50 yang terletak ditengah merupakan posisi titik berat yang paling optimal dibandingkan dengan posisi titik berat 45:55 dan 55:45 karena memiliki nilai *understeer index* (Kus) yang sangat rendah dan cenderung mengalami *understeer*.
 - b. Semakin besar kecepatan dan sudut belok dari kendaraan, maka sudut slip yang terbentuk akan semakin besar. Dengan penambahan beban akan mempengaruhi perpindahan dari letak CG (*center of gravity*). Semakin bergeser beban ke depan, maka kendaraan cenderung mengalami *understeer*. Semakin bergeser beban ke belakang, maka kendaraan cenderung mengalami *oversteer*.
 - c. Kecenderungan terjadinya *understeer* disebabkan karena sudut slip roda depan lebih besar dari sudut slip roda belakang.
 - d. Kendaraan mengalami slip pada sudut belok 10° dan roda tidak terangkat. Hal ini masih dianggap aman karena besar *understeer index* (Kus) sangat kecil dan mendekati kondisi netral yaitu 0.

2. Dari hasil perhitungan waktu pada lintasan *skid-pad*, kendaraan formula *Sapuangan Speed 3* memperoleh waktu terbaik secara perhitungan pada lintasan *skid-pad* dengan waktu 5,0832 s untuk satu putaran, Kus sebesar 0,0678 pada radius 8,982 m dan sudut belok 10° .
3. Pada analisa skid, diperoleh besar *yaw rate* kendaraan saat kendaraan mengalami slip sebesar 1,2361 dan saat dipengaruhi skid sebesar 2,2677. Dapat diketahui bahwa kendaraan mengalami *oversteer* karena percepatan pada roda belakang lebih besar dibandingkan roda depan.
4. Pengaturan *steering* pada *Sapuangan Speed 3*, settingan yang cocok yaitu menggunakan settingan bawah. Karena mobil *Sapuangan Speed 3* cenderung mengalami *understeer*, namun mobil *Sapuangan Speed 3* mengalami *oversteer* akibat *yaw rate* settingan atas merupakan settingan terbaik karena untuk mengatasi *oversteer* yang berlebih.

5.2 Saran

Penelitian ini masih banyak memiliki kekurangan, oleh karena itu penulis mempunyai beberapa saran, yaitu:

1. Dalam perancangan kendaraan formula *Sapuangan Speed 4* perlu diperhitungkan massa kendaraan agar dibuat lebih ringan. Dengan tujuan agar dapat meminimalisir gaya centrifugal yang besar yang mampu menyebabkan kendaraan mengalami *oversteer* maupun *understeer*.
2. Pemilihan ban yang baik dapat dipertimbangkan agar kendaraan memiliki traksi yang lebih baik dengan memilih ban yang lebih lebar.

3. Perhatikan posisi penempatan titik berat, penempatan posisi titik berat yang baik berdasarkan penelitian ini yaitu tepat di tengah dari *wheel base* kendaraan atau 50% : 50%.
4. Kemampuan *driver* harus handal karena *driver* harus mampu menempatkan posisi mobil dalam kondisi apapun. Sebab *driver* merupakan penentu utama agar mendapatkan hasil perlombaan yang baik.
5. Penelitian lebih lanjut agar dilakukan dengan tes uji jalan agar dapat dijadikan sebagai acuan dalam merancang mobil yang lebih baik.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Kaunang, Deni Rizal. 2013. *Analisa Stabilitas Arah Pada Kendaraan Formula Sapu Angin Speed Berdasarkan Variasi Posisi Titik Berat, Kecepatan dan Tes Dinamik Student Formula Japan 2013*.
- [2] Fitrawan, M.Ashadi. *Analisa Steering Linkage pada INKA GEA dan Stabilitas Dengan Variabel Kecepatan, Sudut Belok Terhadap Beban Muatan dan Posisi Muatan*. 2012.
- [3] Sutantra, I Nyoman dan Sampurno, Bambang. 2010. *Teknologi Otomotif*. Edisi kedua. Guna Widya: Surabaya.
- [4] Rennteam Uni Stuttgart 2. Diakses tanggal 29 September 2015.
<http://www.blaessinger.de/unternehmen/sponsoring/rennteam-uni-stuttgart.html>
- [5] 2015 Formula SAE Rules. Diakses tanggal 3 Oktober 2015. <https://www.jsae.or.jp/formula/en/>
- [6] Milliken, William F. dan Milliken, Douglas L. 1911. *Race Car Vehicle Dynamics*. Society of Automotive Engineers, Inc. Warrendale.
- [7] Shimada, Yukio. 2007. *Motor Car Development/Fabrican Guide For Student and Junior Engineers*. Society of Automotive Engineers of Japan, Inc. Tokyo.

BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan di Surabaya, 9 Mei 1992, merupakan anak pertama dari tiga bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal TK Al-Ikhlas , SDN Kendangsari 5, SMPN 17-Surabaya, SMAN Trimurti-Surabaya. Setelah lulus pada tahun 2010 di SMAN Trimurti seleksi nasional masuk perguruan tinggi dan diterima di Jurusan Teknik Mesin FTI-ITS pada tahun 2010 dan terdaftar dengan NRP. 2110100104.

Di Jurusan Teknik Mesin ini penulis mengambil bidang studi Desain Otomotif. Penulis sempat aktif dalam organisasi Lembaga Bengkel Mahasiswa Mesin (LBMM-ITS) sebagai kabiro riset dan teknologi divisi roda 4. Pada tahun 2013/2014 penulis sempat menjabat sebagai ketua divisi Vehicle Dynamic ITS Team Sapuangin dan meraih juara pada kompetisi Indonesia Energy Marathon Challenge (IEMC), Shell Eco Marathon Asia (SEM) dan Student Formula Japan (SFJ).